С. А. Титов, И. Б. Агафонова,
В. И. Сивоглазов

ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ

БАЗОВЫЙ УРОВЕНЬ

11

КЛАСС

ВЕРТИКАЛЬ

ДРОФА

SHOUT
SHARE
IT

Annotation

Учебник соответствует Федеральному государственному образовательному стандарту среднего (полного) общего образования и рассчитан на преподавание предмета из расчета 3 часа в неделю.

Учебник содержит сведения об основных законах и закономерностях, отражающих порядок и самоорганизацию в природе; о строении и деятельности живых систем от клетки до экосистемы; о происхождении и развитии жизни на Земле; об особенностях происхождения и развития человека, его генетике и заболеваниях; о ноосфере и технических достижениях человека.

Современное оформление, многоуровневые вопросы и задания, дополнительная информация и возможность параллельной работы с электронным приложением способствуют эффективному усвоению учебного материала.

Учебник адресован учащимся 11 класса.

- С. А. Титов, И. Б. Агафонова, В. И. Сивоглазов
  - Введение
  - Порядок и самоорганизация в природе
    - § 1 Порядок и беспорядок в строении веществ
    - § 2 Теплота и температура
    - § 3 Идеальный газ и его законы
    - § 4 Энергия и работа
    - § 5 Теплота и работа
    - § 6 Законы термодинамики
    - § 7 Энтропия
    - § 8 Энтропия и вероятность
    - § 9 Информация
    - § 10 Информация, вероятность и энтропия
    - § 11 Свойства информации и двоичная система счисления
    - § 12 Ценность и избыточность информации
    - § 13 Самоорганизующиеся системы
    - § 14 Лазеры как неравновесные самоорганизующиеся системы
    - § 15 Синергетика – наука о самоорганизации
    - § 16 Области применения синергетики
  - Строение и деятельность живых систем. Молекулы и клетки
    - § 17 Что такое жизнь?
    - § 18 Клетка – элементарная единица жизни

- § 19 Химический состав клетки
- § 20 Эукариотические клетки
- § 21 Прокариотические клетки. Вирусы
- § 22 Энергетический обмен
- § 23 Автотрофное питание
- § 24 Генетический код и биосинтез белка
- § 25 Деление клетки
- § 26 Размножение организмов

○ Строение и деятельность живых систем. Организмы
- § 27 Система живой природы. Грибы
- § 28 Систематика и жизнедеятельность растений
- § 29 Систематика и особенности строения беспозвоночных животных
- § 30 Систематика и особенности строения позвоночных животных
- § 31 Размножение и развитие у растений
- § 32 Размножение и развитие у животных
- § 33 Основные законы наследственности. Законы Менделя
- § 34 Хромосомная теория наследственности
- § 35 Изменчивость и её виды

○ Строение и деятельность живых систем. Популяции и экологические системы
- § 36 Экология и экологические факторы
- § 37 Популяция – основная экологическая единица
- § 38 Сообщества и экологические системы
- § 39 Трофическая структура экосистемы и пищевые цепи
- § 40 Взаимоотношения популяций в экосистеме
- § 41 Устойчивость и смена сообществ
- § 42 Биосфера

○ Происхождение и развитие жизни на земле
- § 43 История представлений о зарождении жизни
- § 44 Теории происхождения жизни: от XIX в. к настоящему времени
- § 45 Первые эволюционные теории и возражения против них
- § 46 Дарвинизм и синтетическая теория эволюции
- § 47 Микроэволюция и видообразование
- § 48 Доказательства эволюции
- § 49 Типы эволюционных изменений и

направления эволюции
- § 50 Адаптации организмов к условиям обитания как результат действия естественного отбора
- § 51 Другие эволюционные идеи
- § 52 Геохронологическая шкала. Развитие жизни в протерозое и палеозое
- § 53 Развитие жизни в мезозое и кайнозое

○ Человек в системе естествознания
- § 54 Человек как живой организм
- § 55 Этапы эволюции человека
- § 56 Происхождение и расселение современного человека. Расы
- § 57 Развитие и старение человека
- § 58 Инфекционные заболевания
- § 59 Паразитарные заболевания
- § 60 Сердечно-сосудистые и онкологические заболевания
- § 61 Нервные и психические заболевания
- § 62 Лекарственные средства. Наркотическая зависимость
- § 63 Яды, токсины и противоядия
- § 64 Генетика человека и наследственные заболевания

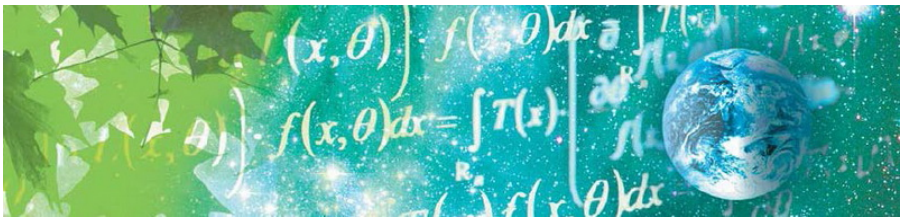
○ Ноосфера и технические достижения человека
- § 65 Ноосфера и неолитическая революция
- § 66 Селекция
- § 67 Биотехнологии
- § 68 Ноосфера и перемещение в пространстве
- § 69 Человек уходит в небо
- § 70 За пределами земного тяготения
- § 71 Как сохранить изображение
- § 72 Как создать движущееся изображение
- § 73 От арифмометра к персональному компьютеру
- § 74 От вычислительной машины к искусственному интеллекту
- § 75 Наночастицы и перспективы нанотехнологий
- § 76 Взаимодействие ноосферы и биосферы
- § 77 Основные экологические проблемы современности

○ Заключение: Перспективы развития ноосферы
○ Приложение

        - Памятки для ученика
    - Список рекомендуемых интернет-сайтов
- notes
    - 1
    - 2
    - 3
    - 4
    - 5
    - 6
    - 7
    - 8
    - 9
    - 10
    - 11
    - 12
    - 13
    - 14
    - 15
    - 16
    - 17
    - 18
    - 19
    - 20
    - 21
    - 22
    - 23
    - 24

С. А. Титов, И. Б. Агафонова, В. И. Сивоглазов
Естествознание. Базовый уровень. 11 класс
Учебник

Введение



Дорогие старшеклассники!

В прошлом году вы познакомились с основными законами физики, узнали, как устроены элементарные частицы, из которых состоит наш мир, какие силы влияют на их движение и расположение в пространстве. Вы узнали также о том, как протекают основные химические реакции и каким образом из атомов формируются молекулы – от самых простых, как молекулы воды, до сложных полимеров, деятельность которых лежит в основе работы живого организма. Вы познакомились со строением Земли, Солнечной системы и Вселенной в целом.

В этом году мы рассмотрим более сложные процессы, которые основаны на уже известных вам физических законах. Мы попытаемся понять, что означают слова «порядок» и «беспорядок» в естественных системах и как можно оценить соотношение того и другого. Мы узнаем, что в природе существуют системы, способные к самоорганизации, т. е. к созданию порядка внутри самих себя. Наиболее сложными такими системами являются живые организмы.

В этом году мы поговорим об основных закономерностях, свойственных всему живому. Вы узнаете о природе наследственности и познакомитесь с основами экологии.

Наконец, вы узнаете о происхождении и развитии человека, который способен не только адаптироваться к окружающим его условиям, но и изменять их, создавая для этой цели сложные технические приспособления и устройства. Мы расскажем об особенностях человека как живого организма, о его здоровье и заболеваниях, а также об истории создания и принципах работы технических устройств, сыгравших наиболее важную роль в истории человечества. Вы узнаете о том, что представляет собой ноосфера – область человеческого разума, которая в наше время охватывает весь земной шар и даже околоземное пространство, оказывая огромное влияние на жизнь других живых организмов и на неживую природу.

Работая с учебником, постоянно оценивайте свои

достижения. Довольны ли вы ими? Что нового вы узнаёте при изучении новой темы? Как могут пригодится вам эти знания в повседневной жизни? Если какой-то материал покажется вам сложным, обратитесь за помощью к учителю или воспользуйтесь справочной литературой и ресурсами Интернета. Список рекомендуемых интернет-сайтов вы найдёте в конце учебника.

Порядок и самоорганизация в природе

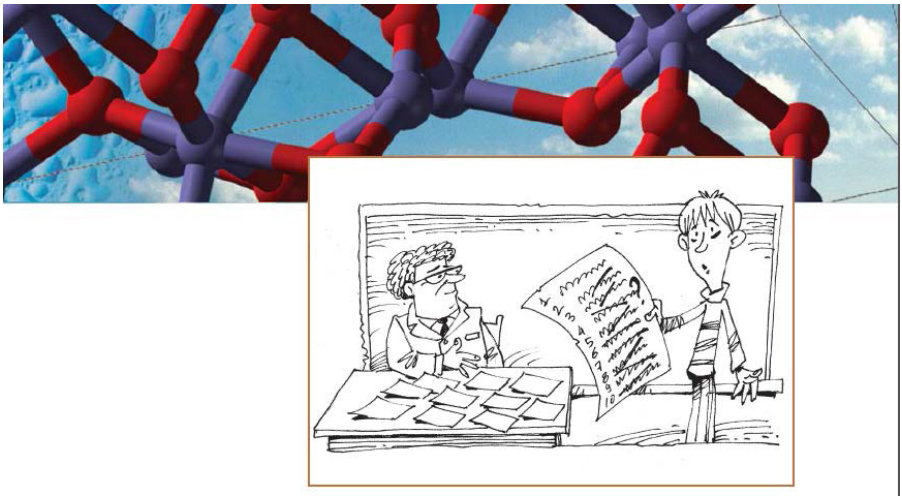
§ 1 Порядок и беспорядок в строении веществ

Лотос, священный цветок Индии, символизирует четыре первоэлемента. Лотос уходит своими корнями в ***Землю,*** *растёт в* ***Воде,*** *раскрывается на* ***Воздухе*** *под воздействием* ***Огня*** *Солнца.*

Как вам известно, все вещества состоят из молекул, атомов или ионов. При этом атомы или ионы в кристаллах некоторых веществ могут быть соединены прочными связями и образовывать жёсткие неизменяемые структуры со строго установленным порядком. Атомы или молекулы других веществ могут свободно перемещаться в пространстве, взаимодействуя с другими атомами или молекулами только тогда, когда случайно с ними столкнутся. В зависимости от типа взаимодействия молекул или атомов вещества могут находиться в определённом ***агрегатном состоянии.*** Существует три основных агрегатных состояния вещества – твёрдое, жидкое и газообразное. Иногда их называют также фазовыми состояниями.

Твёрдые тела

Твёрдые тела образованы веществами, находящимися в твёрдом агрегатном состоянии. Они обладают формой, не растекаются и не разлетаются по объёму окружающего их сосуда (рис. 1). Их атомы или молекулы сохраняют своё положение относительно других атомов или молекул благодаря межмолекулярным взаимодействиям. Наибольший порядок расположения атомов существует в *кристаллических* твёрдых телах: зная, где находится один атом, можно с большой точностью определить, где находится такой же другой. Атомы или молекулы в кристаллах располагаются в вершинах многогранников, образуя правильную структуру, которую называют кристаллической решёткой.



Иногда одни и те же элементы могут образовывать кристаллические решётки различной формы, что существенно сказывается на свойствах вещества. Например, алмаз и графит состоят только из атомов углерода. Различие их свойств обусловлено отличиями в строении их кристаллических решёток (см. рис. 131, учебник 10 класс[1]). Самое известное и распространённое кристаллическое вещество – это лёд.

Другим видом твёрдых тел являются *аморфные.* Точки равновесия, вокруг которых колеблются составляющие их молекулы, расположены беспорядочно. Аморфные тела не имеют упорядоченной кристаллической структуры и ведут себя подобно очень вязким жидкостям. Примерами таких тел может служить стекло, а также различные смолы и клеи.

Жидкост

Другим агрегатным состоянием вещества является ***жидкое состояние.*** В отличие от твёрдых тел, жидкости не имеют постоянной формы, а принимают форму сосуда, в котором они находятся. Однако объём жидкости, как бы её ни разливали и не переливали из одного сосуда в другой, остаётся постоянным. Также этот объём не зависит от того, под каким давлением находится жидкость. Поэтому говорят, что жидкости несжимаемы. Между молекулами жидкости существует притяжение, достаточно сильное для того, чтобы удерживать их на близком расстоянии, но недостаточное для образования жёсткой структуры. Жидкости могут служить растворителями для многих веществ. Самым распространённым растворителем в природе является вода – в

ней растворяются многие органические и неорганические вещества. Если в жидкости ничего не растворено и она представляет собой однородное химическое вещество, её называют чистой жидкостью. В противном случае она называется смесью.

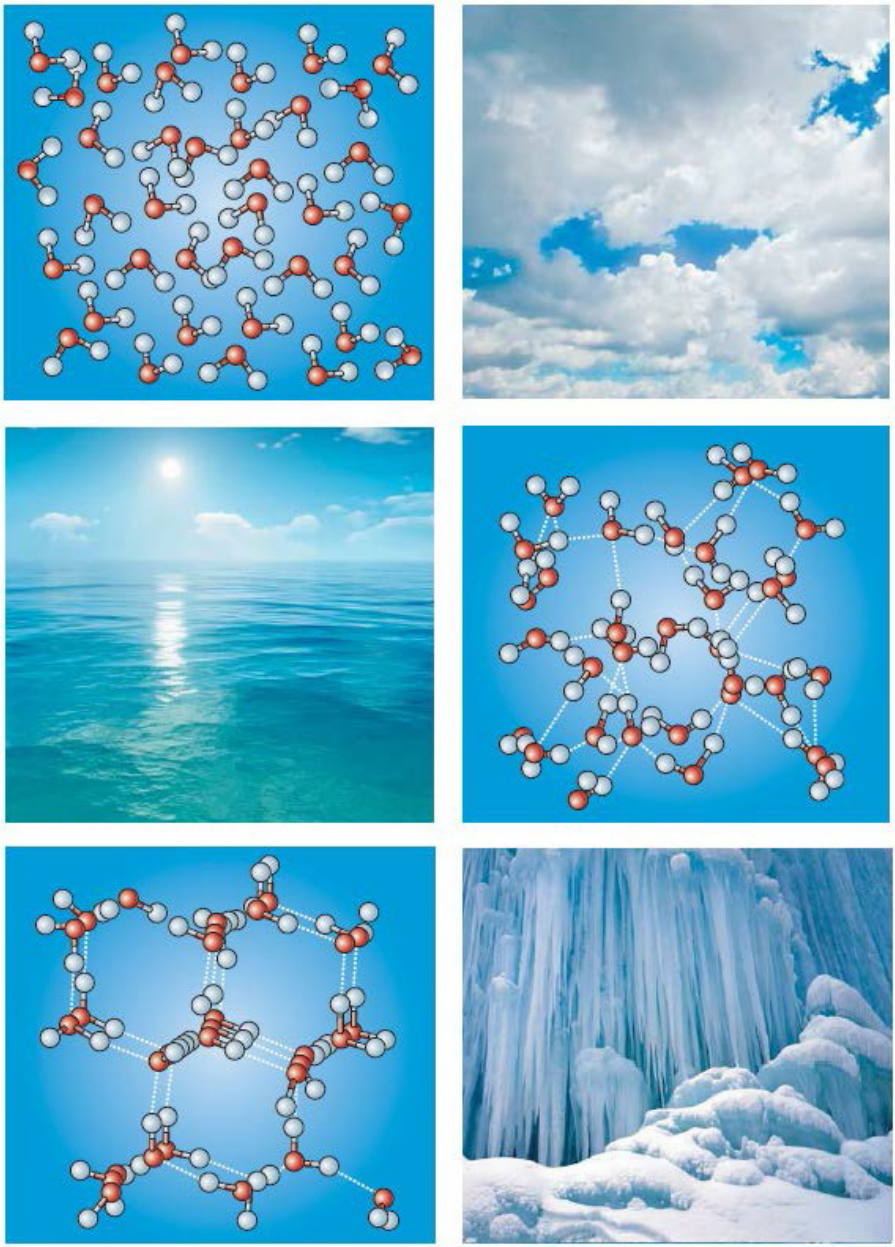


Рис. 1. Агрегатные состояния воды (газообразное, жидкое, твёрдое) и связи молекул в различных агрегатных состояниях

Смеси могут существовать в виде растворов (если растворённое вещество присутствует в виде отдельных молекул или ионов) или взвесей (если в растворителе находятся более крупные частицы). Примером раствора может служить морская вода, а примером взвеси – молоко, состоящее из воды и мельчайших капель жира.

Газы

Наконец, существует агрегатное состояние, при котором молекулы почти никак не связаны между собой и находятся в хаотическом движении. Иногда они сталкиваются и при этом резко меняют направление своего движения.

Рис. 2. Плазма

Вещества, находящиеся в этом состоянии, называют ***газами,*** а само состояние – *газообразным.* Газ не способен сохранять ни свою форму, ни свой объём, который может значительно меняться при малейшем изменении температуры или давления. Находясь в сосуде, газ не образует поверхности, как это делает жидкость, а стремится заполнить весь сосуд целиком (см. рис. 1).

Плазма

Наконец, существует ещё один вид вещества, который иногда рассматривают как частный случай газообразного, но часто выделяют в особое, четвёртое, агрегатное состояние, называемое ***плазмой.*** Плазма представляет собой ионизированный газ, в котором часть электронов покидает оболочки своих атомов и оказывается в свободном состоянии. Плазма, таким образом, состоит из свободно передвигающихся электрических зарядов (электронов) и ионов, поэтому является проводящей средой и в гораздо большей степени взаимодействует с электрическими и магнитными полями, чем вещества в других агрегатных состояниях. По современным представлениям в состоянии плазмы находится около 99,9 % всего вещества Вселенной. Из плазмы состоят все звёзды, и даже межзвёздное пространство, в котором носятся мельчайшие электрически заряженные частицы пыли, тоже можно считать плазмой, хотя и очень разреженной.

Рис. 3. Огни святого Эльма (гравюра XIX в.)

Из хорошо известных нам явлений примером плазмы, смешанной с раскалённым газом, является огонь (рис. 2). Другой вид плазмы – это молнии, образующиеся в ионизированной атмосфере при возникновении электрического поля из-за неравномерного скопления положительных и отрицательных зарядов. Плазмой является также коронный разряд, имеющий вид светящихся пучков или кисточек на острых концах высоких предметов, таких как мачты кораблей, башни, высокие деревья или вершины скал. Такой разряд возникает, если напряжённость электрического поля в атмосфере достигает очень большой величины, что чаще всего бывает во время грозы или при её приближении. Он получил название огней святого Эльма от имени католического покровителя моряков (рис. 3). Моряки считали, что эти огни предвещают успех в плавании, а в случае опасности – спасение. Плазма составляет также значительную

часть ионосферы – верхней части атмосферы. Таким образом, в отсутствие электрического воздействия плазма представляет собой хаотически движущиеся заряженные частицы, а в электрическом поле она приобретает направленное движение, как, например, разряд молнии.

Рассматривая четыре агрегатных состояния вещества, принятые в современной физике, можно заметить, что древние греки были не очень далеки от истины, считая, что все вещества состоят из четырёх первоэлементов – земли, воды, воздуха и огня. Теперь, когда мы знаем, что Земля является, по сути, твёрдым телом, вода – жидкостью, воздух – газом, а огонь – плазмой, мы уже не можем уверенно утверждать, что представления древнегреческих философов, включая Аристотеля, были слишком наивны.

Проверьте свои знания

1. Каким фактором определяется агрегатное состояние вещества?
2. Сравните кристаллические и аморфные твёрдые тела.
3. Опишите взаимодействие молекул в жидкости.
4. Приведите примеры естественных явлений, основу которых составляет плазма.

Задания

Исследуйте, как ведут себя кристаллические и аморфные вещества при нагревании. Для этого положите в морозильную камеру холодильника сосуд с водой и кусок парафина. Когда их температура сравняется и вода замёрзнет, достаньте предметы из холодильника и оставьте при комнатной температуре. Отметьте, что происходит с водой и парафином в процессе их нагревания.

§ 2 Теплота и температура

Теплота состоит во внутреннем движении материи. Поскольку тела состоят из неразрушимой материи, то могут вращаться со сколь угодно большой скоростью. Поэтому не существует предельно высокой степени температуры. По необходимости должна существовать наибольшая, и последняя, степень холода. Однако и «высшей степени холода» на нашем земноводном шаре не существует.

М. В. Ломоносов

При изменении температуры или давления вещества могут менять своё агрегатное состояние. В качестве наиболее наглядного примера можно рассмотреть изменения агрегатного состояния воды. Как известно, при температуре ниже 0 °C вода находится в твёрдом состоянии, т. е. представляет собой лёд. При такой температуре она не может находиться в жидком состоянии, но может ли находиться в газообразном? Казалось бы, на этот вопрос напрашивается отрицательный ответ. Однако это не так. Все хозяйки знают, что бельё, вывешенное на балконе или во дворе, даже при сильном морозе со временем высыхает. Это происходит потому, что, несмотря на то что молекулы воды довольно прочно удерживаются в кристаллах льда, время от времени им удаётся оторваться и покинуть свою льдину. Оторвавшиеся молекулы образуют водяной пар, который всегда присутствует вокруг куска льда, хотя в морозную погоду его количество весьма невелико.

Когда температура достигает 0 °C, вода скачкообразно переходит в жидкое состояние. Этот процесс называют *плавлением.* Тепловая энергия, которую в это время поглощает вода, целиком расходуется на разрушение кристаллической решётки льда, поэтому до той поры, пока лёд полностью не растает, его температура повышаться не будет. Такую теплоту называют *теплотой плавления,* она поглощается без изменения температуры. Когда вся вода перейдёт в жидкое состояние, дальнейшее её нагревание будет сопровождаться ростом температуры. При этом из жидкой воды, так же как и изо льда,

будет постоянно вылетать часть молекул. Для того чтобы молекула покинула жидкую среду, требуется затратить энергию. На *испарение* воды расходуется энергия в виде тепла, теряя которую вода остывает. Все знают, что при одной и той же температуре воздуха сухая одежда греет гораздо лучше, чем мокрая. Это известно и природе, которая для защиты организмов от перегрева создала механизм выделения пота. Теплота, расходуемая на испарение пота, забирается у организма и не даёт ему перегреться.

Когда температура воды достигнет 100 °C, начнётся её ***кипение,*** т. е. резкий переход в газообразное состояние. Если при более низкой температуре вода испаряется только с поверхности, то при кипении испарение происходит по всему объёму, что мы наблюдаем в виде постоянно образующихся, всплывающих и лопающихся пузырьков. Поступающую при этом к воде теплоту называют *теплотой парообразования.* Она будет целиком расходоваться на превращение воды в пар без изменения её температуры.

Лёд плавится (т. е. тает) при температуре **0 °C,** а вода кипит при температуре 100 °C, только если процесс протекает при нормальном атмосферном давлении (760 мм рт. ст.). Если давление будет выше, то температуры плавления и кипения повысятся, а если ниже, то соответственно снизятся. Находясь в горах, сложно приготовить пищу, так как температура кипения воды будет ниже **100 °C**. Наоборот, в специальных аппаратах – автоклавах, где создаётся высокое давление, вода может кипеть при температуре 110 °C и выше. При этом погибают те бактерии, для которых температура 100 °C не является смертельной. Это позволяет производить консервы в пищевой промышленности и эффективно стерилизовать медицинские принадлежности.

Так как для плавления и испарения вещества требуется затратить энергию, следовательно, при прочих равных условиях газообразное состояние вещества обладает большей энергией, чем жидкое, а жидкое – большей энергией, чем твёрдое. Таким образом, при переходе вещества из газообразного состояния в жидкое (конденсации) энергия должна выделяться. То же самое будет наблюдаться при застывании (кристаллизации) вещества. Количество теплоты, выделяемое веществом во время конденсации и кристаллизации, в точности равно тому, которое расходуется на их испарение и соответственно на плавление. Это следует из закона сохранения энергии.

Такой процесс, заключающийся в резких переходах из одного агрегатного состояния в другое при изменении температуры, характерен для кристаллических веществ, к которым относится, в

частности, вода. Аморфные тела меняют своё состояние постепенно. При низкой температуре они могут выглядеть как твёрдые тела, а в процессе её повышения происходит их постепенное размягчение, в результате которого они сначала начинают вести себя как вязкие жидкости, а при очень высоких температурах и вовсе становятся жидкостями. В качестве примера можно рассмотреть стекло, которое при обычных температурах является настолько твёрдым, что его можно принять за кристаллическое тело. Однако при нагревании оно постепенно становится всё мягче, приобретает пластичность, а затем и текучесть, что и используется в стеклодувном производстве, где из разогретого мягкого стекла изготавливают предметы любой желаемой формы (рис. 4).

Всем известно, что при нагревании тела расширяются. Это происходит потому, что при увеличении температуры молекулы веществ становятся подвижнее, им сложнее удерживаться в тесной близости друг к другу. При этом твёрдые тела увеличиваются в размерах не очень сильно, жидкости – больше, а газы даже при небольшом изменении температуры значительно меняют свой объём.

Рис. 4. Стеклодув может придать стеклянному изделию самую причудливую форму

С другой стороны, мы знаем, что, для того чтобы что-либо

нагреть, надо затратить энергию. Эта энергия может передаваться непосредственно в виде некоторого количества теплоты, например, когда мы ставим кастрюлю на огонь. Теплота самым тесным образом связана с энергией – чем горячее тело, чем выше его температура, тем больше энергии в нём содержится. Но что это за энергия? Она не может быть ни электрической, ни химической, так как оба эти вида энергии превращаются в тепловую только при определённых условиях. Что же она собой представляет?

В XVII – начале XVIII в. большинство учёных считали, что теплота определяется движением молекул. Роберт Бойль писал в 1652 г.: *«То, что теплота заключается в некотором движении малых частиц тела, уже достаточно ясно».* Но во второй половине XVIII в. стала популярной так называемая субстанциональная теория, согласно которой носителем теплоты является специальное вещество – теплород, обладающее такими удивительными свойствами, как невесомость и способность проникать во все вещества, одновременно расширяя их. Но эта теория просуществовала недолго, была поставлена под сомнение ещё в конце XVIII в. М. В. Ломоносовым и окончательно опровергнута в начале XIX в. английскими учёными Б. Румфордом и Г. Дэви. Проведённые ими эксперименты показали, что нагревание тел может происходить в результате трения, т. е. механическое движение может переходить в теплоту (рис. 5). Но если при этом не происходит никаких химических превращений, то логично предположить, что механическое движение так и остаётся механическим движением, но движутся в этом случае молекулы нагреваемого вещества. Таким образом, было установлено, что *содержащаяся в каком-либо физическом теле тепловая энергия представляет собой не что иное, как суммарную кинетическую энергию составляющих тело молекул.*

Рис. 5. Добывание огня трением

Теперь выясним, что представляет собой физическая величина, которую называют температурой. Из курса физики вам известно, что температура характеризует среднюю кинетическую энергию движения молекул. Чем больше средняя кинетическая энергия молекул тела, тем больше их скорость и выше температура тела.

Проверьте свои знания

1. Что такое теплота плавления и теплота парообразования? На какие процессы расходуется их энергия?
2. Как зависит температура плавления льда и испарения воды от атмосферного давления?
3. Почему при нагревании тела расширяются?
4. Какая точка зрения на природу теплоты была распространена в XVIII в.?
5. Что представляет собой тепловая энергия с молекулярной точки зрения?
6. Что характеризует температура тела?

Задания

1. Приведите примеры, иллюстрирующие нагревание предметов в результате трения.
2. Используя дополнительную литературу и ресурсы Интернета, выясните, что такое сварка трением. В чём

преимущество этого типа сварки?

3. Прочитайте эпиграф к параграфу. Объясните, существует ли взаимосвязь между «земноводностью» нашей планеты и относительно стабильным температурным режимом на её поверхности.

§ 3 Идеальный газ и его законы

– Вы знаете, Зося, – сказал он, наконец, – на каждого человека, даже партийного, давит атмосферный столб весом в двести четырнадцать кило. Вы это замечали?

И. Ильф, Е. Петров.
Золотой телёнок

Изучение тепловых явлений в жидкостях и твёрдых телах часто вызывает затруднения. В этих системах молекулы постоянно взаимодействуют и достаточно прочно удерживаются друг возле друга. Гораздо проще обстоит дело с газами, где молекулы свободно перемещаются и пробегают большие расстояния, а их взаимодействия ограничены только случайными столкновениями. Конечно, в реальных газах приходится учитывать возможную ионизацию и возникающие в результате неё силы электрического притяжения и отталкивания, а также размеры и массу молекул. Однако метод научного абстрагирования оказал науке неоценимую пользу. В своё время Галилей предложил не учитывать влияние трения, затем физики согласились не принимать во внимание размеры тел в уравнениях механики, сводя все их перемещения к движению «материальных точек». Аналогично была создана и модель ***идеального газа.***

Эта модель предполагает, что потенциальной энергией молекул можно пренебречь по сравнению с их кинетической энергией. Между молекулами не действуют силы притяжения или отталкивания, а их случайные соударения являются абсолютно упругими. Таким образом, траектория движения каждой молекулы не зависит от движения других молекул. Кроме того, эти молекулы достаточно малы и симметричны, поэтому можно не принимать во внимание их вращение вокруг своей оси. Использование такой модели позволило сформулировать фундаментальные законы, которые во многих случаях достаточно точно объясняют свойства реальных газов.

Законы идеального газа

Три «газовых закона» устанавливают связь между объёмом, давлением и температурой определённой массы газа. Они

названы в честь их первооткрывателей законами Бойля – Мариотта, Гей-Люссака и Шарля и являются частными по отношению к уравнению состояния идеального газа[2].

Предположим, что в сосуде находится некоторое количество газа. Данное количество, т. е. суммарную массу всех молекул газа, будем считать постоянным. Это означает, что сосуд является закрытой системой,т. е. газ не выходит из него и не входит в него. Тогда состояние газа можно в полной мере определить с помощью трёх характеристик: занимаемого им объёма, его температуры и давления, которое он оказывает на стенки сосуда. Что такое объём, понятно без дополнительных объяснений. Температура, как мы уже знаем, зависит от средней кинетической энергии всех находящихся в сосуде молекул газа. А что такое давление? Находящиеся в свободном движении молекулы газа время от времени ударяются о стенки сосуда, передавая им свои импульсы. Как вам уже известно, частное от деления изменения импульса на время, в течение которого он действует, представляет собой силу. Таким образом, находящийся в сосуде газ действует на стенки сосуда с некоторой силой. Очевидно, что эта сила пропорциональна площади стенки, так как чем больше площадь, тем больше молекул имеют шанс удариться о неё за единицу времени. Отношение действующей на стенку силы к площади этой стенки, т. е. силу, действующую на единицу площади, называют ***давлением.***

Теперь представим себе довольно простой опыт. Возьмём наполненный воздухом сосуд, одна из стенок которого может быть подвижной. Назовём её поршнем. Поршень должен очень плотно прилегать к стенкам сосуда для того, чтобы избежать утечки воздуха. А для того чтобы не учитывать веса поршня, его надо расположить в вертикальной плоскости. В начале опыта температура и давление в сосуде и в окружающем воздухе одинаковы. Это значит, что за каждый промежуток времени число и сила ударов молекул по поршню с его внутренней стороны будут в среднем такие же, как и с внешней. А если силы давления на поршень с обеих сторон равны, то поршень будет находиться в равновесии, т. е. оставаться на месте. Конечно, он будет совершать небольшие колебания, потому что в какой-то момент в него может случайно ударить изнутри немного больше молекул, чем снаружи, и наоборот. Такие случайные отклонения от равновесия называют ***флуктуациями.*** Но поскольку число молекул, ударяющихся в каждый момент о поршень, огромно, такие небольшие отклонения от среднего значения практически невозможно обнаружить.

Теперь приложим к поршню с внешней стороны силу, т. е.

начнём толкать его внутрь сосуда. Посмотрим, что произойдёт с заключённым в сосуде газом. Поршень будет перемещаться внутрь сосуда, уменьшая его объём и площадь его стенок. Так как число молекул в сосуде не изменилось, а поверхность стала меньше, то на каждый квадратный сантиметр этой поверхности будет приходиться больше ударов молекул. Следовательно, давление газа в сосуде будет возрастать. Но это ещё не всё. Молекулы, ударяющиеся в движущийся навстречу им поршень, будут отскакивать от него с большей скоростью, чем при ударе о неподвижный. Поэтому скорость молекул в сосуде будет увеличиваться, а, следовательно, температура в нём будет расти. Быстрые молекулы будут ударять в стенки сосуда с большей силой, а это будет служить дополнительной причиной возрастания давления.

Рис. 6. Изотермическое сжатие газа

Таким образом, в рассматриваемом процессе участвуют три взаимозависимых фактора – объём, давление и температура. В этом взаимодействии не так просто разобраться, поэтому авторы законов идеального газа начали с того, что сравнивали их попарно.

Изменение давления и объёма. Попробуем сначала сжимать газ в сосуде таким образом, чтобы температура его при этом не менялась. Это можно сделать, если стенки сосуда хорошо проводят теплоту, а поршень будет двигаться очень медленно. Тогда температура внутри сосуда будет выравниваться с температурой внешней среды и оставаться постоянной. Такой процесс называют *изотермическим сжатием* (от греч. «изос» – одинаковый и «термо» – температура, теплота). В этом случае увеличение давления будет вызвано только увеличением частоты ударов молекул о стенки сосуда, но не их силой, и поэтому будет пропорционально уменьшению объёма (рис. 6). Эта закономерность отражена в законе Бойля – Мариотта.

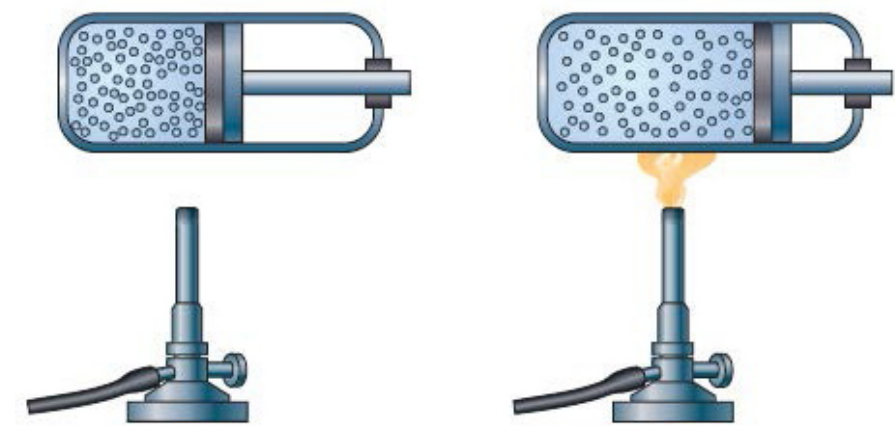


Рис. 7. Изобарическое расширение газа

Изменение объёма и температуры. Теперь посмотрим, как будут связаны между собой объём и температура, если давление останется неизменным. Для этого будем нагревать газ в сосуде с движущимся поршнем. При нагревании кинетическая энергия молекул возрастёт, и вместе с ней возрастёт сила их ударов о поршень. Поскольку теперь на поршень изнутри действует большая сила, чем снаружи, он начнёт выталкиваться из сосуда. Давление в сосуде при этом будет оставаться постоянным, так как усиление ударов молекул компенсируется уменьшением частоты ударов из-за увеличения объёма, а следовательно, и поверхности сосуда (рис. 7). Такой процесс называют ***изобарическим расширением*** (от греч. «барос» – тяжесть). Можно также провести ***изобарическое сжатие.*** Для этого газ в сосуде надо охладить. Тогда его молекулы будут двигаться медленнее и сила давления наружного воздуха заставит поршень двигаться внутрь сосуда. Давление внутри сосуда при этом, как и прежде, меняться не будет. В этих случаях изменение объёма окажется пропорциональным изменению температуры, что и утверждает закон Гей-Люссака.

Изменение температуры и давления. Выясним, как связаны температура и давление в том случае, когда объём газа остаётся неизменным. Для этого надо закрепить поршень так, чтобы он не мог двигаться, и нагреть сосуд с газом. Поверхность сосуда, а следовательно, и частота ударов молекул о неё меняться не будут, но сила ударов возрастёт из-за увеличения кинетической энергии молекул. В этом случае давление будет увеличиваться пропорционально увеличению температуры, как и утверждает закон Шарля.

Закон состояния идеального газа

А теперь вернёмся к нашему первому опыту, где происходило одновременно изменение объёма, температуры и давления. Эти три величины связывает между собой закон состояния идеального газа, который утверждает, что *отношение произведения объёма на давление к абсолютной температуре всегда остаётся постоянным:*

$$\boldsymbol{pV/T = const,}$$

где p – давление, V – объём сосуда, T – абсолютная температура.

В заключение ещё раз напомним, что все описанные здесь закономерности применимы только к идеальному газу. В реальных газах они соблюдаются с определённым приближением и иногда становятся неверными, особенно в тех случаях, когда, например, температура и давление приобретают очень большие значения.

Проверьте свои знания

1. Что представляет собой модель идеального газа?
2. От каких характеристик молекул газа зависит давление на стенки сосуда, в котором он находится?
3. Используя рисунки 6 и 7, расскажите, какие процессы происходят при сжатии газа в закрытом сосуде.
4. Что такое изотермическое и изобарическое расширение?

Задания

Проведите исследование. Для этого возьмите пластиковую бутылку из-под любого напитка. Плотно заверните крышку и поместите бутылку в морозильную камеру. Стенки бутылки сожмутся, и объём её уменьшится. Немного нарушьте герметизацию бутылки, слегка отвернув крышку. Вы услышите, как внутрь бутылки входит струя воздуха, а её объём увеличивается. Теперь снимите крышку с бутылки, заткните её комком ваты и поместите в горячую воду. Через некоторое время комок ваты вылетит из бутылки. Объясните все свои наблюдения с точки зрения теплового поведения молекул газа.

§ 4 Энергия и работа

Две бочки ехали; одна с вином,
Другая пустая.
Вот первая – себе без шуму и шажком
Плетётся,
Другая вскачь несётся;
От ней по мостовой и стукотня, и гром,
И пыль столбом;
Прохожий к стороне скорей от страху жмётся,
Её заслышавши издалека.
Но как та Бочка ни громка,
А польза в ней не так, как в первой, велика.

И. А. Крылов

Вода как источник энергии

Древние изобретатели старались отыскать в природе дополнительные источники энергии. Первым таким источником стала вода. Люди обратили внимание на её мощные потоки и придумали, как извлечь пользу из этого движения. Так появилось водяное колесо, которое изначально было предназначено для орошения полей. Сначала в воду опускали колесо с черпаками и вращали его вручную, поднимая воду на поверхность, но вскоре догадались, что если к колесу приделать лопатки, то текущая вода сама будет вращать его и доставлять воду наверх. Вскоре на основе водяного колеса были созданы водяные мельницы (рис. 8), которые сначала использовали для помола зерна, а начиная с XIII в. – для изготовления бумаги, ковки железа, резки брёвен и многих других работ, а впоследствии и для выработки электроэнергии. В тех местах, где течение рек и ручьёв было недостаточно быстрым, стали создавать плотины, с высоты которых вода падала с большой скоростью. Несмотря на очевидную выгоду водяных мельниц, их работа вызывала у людей непонимание и боязнь, считалось, что в их окрестностях обитают

русалки и водяные, а мельников подозревали в преступных связях с нечистой силой.

Ветер как источник энергии

Вторым источником дополнительной энергии для человека стал ветер. Мощность ветра меньше, чем мощность падающей воды, да и дует он не всегда, зато он не привязан к рекам и может использоваться в любом месте. О том, что сила ветра может вызывать полезное движение, было известно очень давно, ещё со времени изобретения парусов. Примерно в VII в. люди из засушливых степей Азии, видевшие, как работают водяные мельницы, но не имевшие собственных водных источников, изобрели ветряные мельницы, которые могли вращать жернова. Из жёрнова выходил вертикальный вал с парусами, который поворачивался, когда дул ветер. С помощью таких мельниц можно было молоть зерно, а также качать воду из– под земли. Впоследствии ветряные мельницы сделали вращающимися, для того чтобы «ловить» ветер, когда он меняет своё направление (рис. 9).

Энергия, запасённая в органических веществах

Самый главный источник энергии долгое время оставался неосвоенным. Конечно, им пользовались очень широко, но не для производства механической работы. Речь идёт о химической энергии, запасённой в таких органических веществах, как древесина, торф или каменный уголь, и способной легко превращаться в энергию тепловую. Уже далёкие предки человека были знакомы с этой энергией, когда научились использовать, а затем и добывать огонь.

Рис. 8. Водяная мельница

Все знали, что в процессе горения образуется огромное количество теплоты, но проходили десятки тысяч лет, а эту энергию использовали только для обогрева, освещения и приготовления пищи.

Рис. 9. Ветряные мельницы

Зачем нужны источники энергии

Прежде чем мы познакомимся с историей появления тепловых машин и с их устройством, задумаемся над одной проблемой. А зачем вообще для совершения работы требуются какие-либо источники энергии, ведь энергии всегда и везде достаточно? Мы уже говорили о законе сохранения энергии и знаем, что она не может никуда исчезнуть. Мы говорим, что для совершения работы требуется затратить энергию. Но что означает слово «затратить»? Ведь количество энергии после совершения этой работы останется таким же, как и было, иначе будет нарушен закон её сохранения.

Вернёмся к водяным и ветряным мельницам. Откуда берётся энергия, необходимая для того, чтобы их жернова вращались? Конечно, она складывается из кинетических энергий воды или ветра, но легко понять, что для приведения в движение мельничных жерновов этого недостаточно. Опустим водяное колесо в стоячий пруд и убедимся в том, что, хотя молекулы воды в нём непрерывно движутся, колесо вращаться не будет. Для того чтобы оно стало вращаться, необходимо, чтобы его окружала

текущая вода. То же самое относится и к ветряным мельницам, а заодно и к парусам. В безветренную погоду ни жернова, ни корабль двигаться не будут, хотя о них каждое мгновение ударяются миллиарды миллиардов молекул, несущих в сумме огромную кинетическую энергию. Причина этого заключается в том, что, хотя давление воды или воздуха, оказываемое на лопасть водяного колеса, крыло ветряной мельницы или парус, может быть очень большим, оно одинаково со всех сторон. Все удары молекул уравновешиваются, и механизм остаётся неподвижным. Для того чтобы он пришёл в движение, требуется, чтобы в каждый момент времени об одну сторону его лопасти ударялось больше молекул, чем о другую, что и происходит, если вода или воздух движутся в постоянном направлении.

Таким образом, для того чтобы энергия могла совершать работу, её количество должно быть неодинаковым в различных местах. Молекулы газа или жидкости будут двигаться в различных направлениях по– разному, если между определенными точками в пространстве существует какая-либо разница. Вода течёт, потому что её уровень в различных участках русла неодинаков. Ветер дует, когда между различными местами существует перепад давлений. Песок или зерно, использовавшиеся в машинах Герона, приводили в движение различные предметы потому, что они изначально находились на разной высоте, т. е. обладали разной потенциальной энергией.

Рис. 10. Г. Гельмгольц

Если энергия в разных местах системы неодинакова, то такая система может совершить работу. В этом случае говорят, что система обладает ***свободной энергией.*** Если же энергия во всех

частях системы одинакова и даже очень велика, она не сможет выполнить работу. Такую бесполезную энергию называют ***связанной.*** Понятия свободной и связанной энергии предложил в 1881 г. выдающийся немецкий физик, физиолог и психолог **Герман Гельмгольц** (1821–1894) (рис. 10). Когда в изолированной системе совершается работа, общая энергия этой системы не меняется, но часть её переходит из свободного состояния в связанное и, таким образом, обесценивается. С этим обстоятельством столкнулись создатели первых тепловых машин.

Проверьте свои знания

1. Как в прошлые века люди использовали энергию воды и воздуха для решения практических задач?
2. Что требуется для того, чтобы машины, приводимые в действие водой или воздухом, могли работать?
3. Что такое свободная и связанная энергия?
4. Что происходит с энергией в процессе совершения работы?

Задания

Проведите исследование. Для этого возьмите пластинку из негорючего материала, лучше всего металлическую, и укрепите её на стойке так, чтобы она могла свободно вращаться. Поместите под одной половиной пластинки газовую горелку. От пламени горелки будет подниматься тёплый воздух, который будет заставлять пластинку вращаться. Теперь поместите точно такую же горелку симметрично под второй половиной пластинки. При этом поступающая на пластинку энергия увеличится вдвое, но вращение прекратится. Объясните, почему это произошло.

§ 5 Теплота и работа

Автор третьего начала термодинамики Вальтер Нернст в часы досуга разводил карпов. Однажды кто-то глубокомысленно заметил:

– Странный выбор. Кур разводить и то интересней.

Нернст невозмутимо ответил:

– Я развожу таких животных, которые находятся в термодинамическом равновесии с окружающей средой. Разводить теплокровных – это значит обогревать на свои деньги мировое пространство.

Из сборника «Физики продолжают шутить»

О том, что при определённых условиях теплота может приводить что– либо в движение, люди догадывались давно. Мы уже упоминали в 10 классе об эолипиле Герона, который мог вращаться под действием силы пара, вырывающегося из его отверстий. Однако в течение долгого времени процесс преобразования теплоты в механическую работу не находил практического применения. Первые тепловые машины появились в начале XVIII в., а их широкое применение началось после того, как в 60—80-х гг. этого же века британский инженер **Джеймс Уатт** (1736–1819) запатентовал несколько вариантов парового двигателя экономичной конструкции[3](рис. 11). Впоследствии, в XIX в., появились и другие виды двигателей, в том числе паровые турбины и двигатель внутреннего сгорания, который используется в современных автомобилях. Устройство этих двигателей вам уже знакомо из курса физики. Рассмотрим основной принцип работы тепловых машин, изучение которого привело к грандиозным открытиям в естествознании.

Принцип работы тепловых машин

В основе работы всех тепловых машин лежит один общий

принцип. Существует источник теплоты, который называют нагревателем. Нагреватель передаёт эту теплоту веществу, называемому рабочим телом. Обычно в качестве рабочего тела используют какой-либо газ, чаще всего воздух или водяной пар. Кинетическая энергия молекул рабочего тела увеличивается, однако этого недостаточно для того, чтобы машина могла совершить полезную работу, например поднять груз или повернуть колесо. Мы знаем, что совершать такую работу может только свободная энергия, а для того, чтобы энергия была свободной, требуется, чтобы в разных местах машины количество её было неодинаковым.

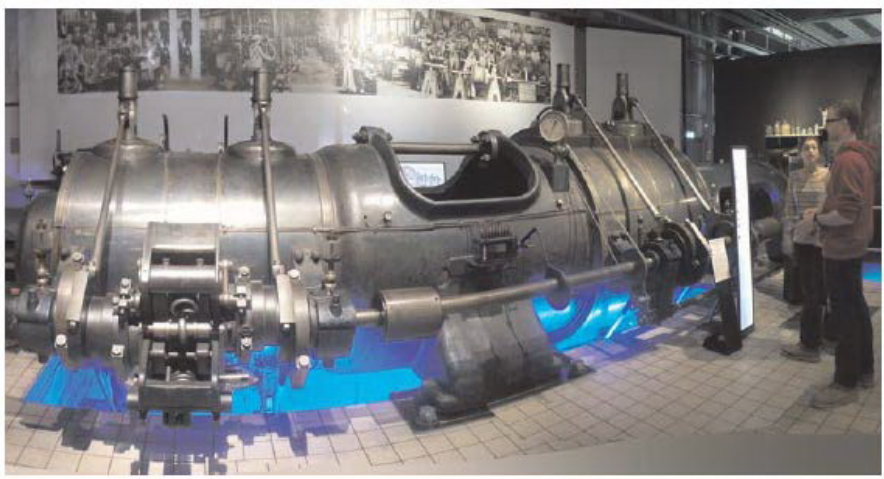


Рис. 11. Двухцилиндровая паровая машина, XIX в. (Музей индустриальной культуры. Нюрнберг) (автор фото В. Муратов)

Поэтому рабочее тело должно соприкасаться с более холодной областью, которую называют холодильником. В этом случае движение молекул рабочего тела будет направлено преимущественно от нагревателя к холодильнику, возникнет их поток, который и сможет совершить полезную работу.

Рассмотрим самую простую тепловую машину – эолипил Герона. Нагревателем в нём служит огонь, холодильником – окружающий воздух, а рабочим телом – водяной пар. В сосуде, где образуется пар, скорость его молекул гораздо больше, а давление выше, чем в окружающей атмосфере, поэтому основная часть молекул движется «к выходу». До тех пор пока в машине образуется пар, его струи будут вырываться из отверстий эолипила, приводя его во вращение. По этому же принципу работают турбины, которые, по сути, представляют собой усовершенствованное изобретение Герона. Паровой двигатель и

двигатель внутреннего сгорания устроены сложнее, в них поступление теплоты от нагревателя и отдача её холодильнику могут не совпадать во времени, но принцип передачи теплоты остаётся тем же.

История создания термодинамики

С начала XIX в. усилия многих исследователей были направлены на то, чтобы понять принцип действия тепловых машин и усовершенствовать их конструкцию. Это привело к созданию одного из важнейших разделов современной физики – ***термодинамики.*** Само слово «термодинамика» означает «движение теплоты», однако, как вы увидите дальше, область применения её законов выходит далеко за рамки конструирования тепловых машин и даже вообще за рамки физики.

Первым исследователем, зародившим своими работами термодинамику, был французский инженер **Сади Карно** (1796–1832) (рис. 12). Тяжело переживая поражение наполеоновской Франции, он стремился к усовершенствованию технической мощи своей страны. С этой целью он начал искать возможности усовершенствования паровых машин. Результаты своих изысканий Карно опубликовал в 1824 г. в книге «Размышления о движущей силе огня». Интересно, что к открытию новых научных принципов Карно привели ошибочные представления. Дело в том, что он придерживался теории теплорода, т. е. предполагал, что теплота является веществом и поэтому подчиняется известному в то время закону сохранения вещества. Он считал, что суммарное количество теплоты всегда сохраняется, а её движение от горячего тела к холодному аналогично потоку воды, текущему с высоты вниз. Выводы Карно оказались правильными, потому что действительно имеет место сохранение, но не вещества, а энергии, о которой в его времена ещё ничего не знали.

Рис. 12. С. Карно

Для того чтобы отделить в рассуждениях Карно истину от ложных концепций, потребовались исследования, которые были проведены учёными следующего поколения. Одним из исследователей, внёсших наибольший вклад в развитие термодинамики, был Джеймс Прескотт Джоуль (1818–1889), в честь которого названа единица измерения энергии. Проведённые им эксперименты подтвердили, что теплота в физических процессах не сохраняется. Путём точных измерений Джоуль количественно показал, каким образом работа переходит в теплоту, и вычислил механический эквивалент теплоты. Он также определил количество теплоты, которая выделяется при прохождении электрического тока через проводник (закон Джоуля – Ленца). Работы Джоуля показали, что теплота не является особым веществом, и послужили основой для введения в физику понятия энергии и открытию закона её сохранения.

Другому британцу, **Уильяму Томсону** (1824–1907), более известному под именем лорда **Кельвина**, удалось объединить, казалось бы, противоречащие друг другу представления Карно и Джоуля. Он предположил, что за результатами их экспериментов скрываются два закона природы и что кроме вещества в физических процессах сохраняется ещё одна физическая величина, которая впоследствии получила название энергии. В результате исследований Кельвина фактически родилась термодинамика. В его честь названа единица измерения абсолютной температуры.

К числу создателей термодинамики следует причислить и Рудольфа Клаузиуса (1822–1888), который не только уточнил выводы Карно и отказался от теории теплорода, но и попытался

объяснить природу теплоты на основе поведения частиц, из которых состоит вещество. Тем самым он, с одной стороны, вернулся к представлениям XVII в., но на новой основе, а с другой – заложил основу современного подхода к термодинамике.

Ключевую роль в термодинамике играет закон сохранения и превращения энергии, который был обоснован и сформулирован в 1842 г. немецким врачом Юлиусом Робертом Майером (1814–1878), а в 1847 г. в более строгой и детальной форме – Г. Гельмгольцем. Интересно, что к мысли о сохранении энергии оба исследователя пришли, проводя опыты не на физических, а на биологических объектах.

Проверьте свои знания

1. Какие три составные части обязательно входят в состав тепловой машины?
2. В чём заключается значение исследований Джоуля?
3. Кто обосновал и сформулировал закон сохранения энергии?

Задания

Прочитайте эпиграф к параграфу. Почему, по мнению Вальтера Нернста, карпы «находятся в термодинамическом равновесии с окружающей средой»? Каких ещё животных мог бы разводить автор третьего начала термодинамики, чтобы не «обогревать на свои деньги мировое пространство»?

§ 6 Законы термодинамики

Неразбериха в обществе постоянно возрастает. Только очень упорным трудом можно её несколько уменьшить. Однако сама эта попытка приведёт к росту совокупной неразберихи.

Второй закон термодинамики Эверита.

Из сборника «Физики шутят»

Термодинамика строится на нескольких основных законах, называемых началами термодинамики. Из трёх существующих начал термодинамики мы познакомимся с двумя. ***Первое начало*** термодинамики представляет собой по существу уже известный нам закон сохранения энергии. Сегодня понятие энергии прочно вошло в нашу жизнь, и нам очень трудно представить, какие интеллектуальные усилия потребовались создателям термодинамики для того, чтобы сформулировать это понятие. Впрочем, тему сохранения энергии мы уже обсуждали раньше и не будем к ней возвращаться, а сосредоточим своё внимание на вопросе свободной и связанной энергии.

Эти понятия рассматривают в связи со ***вторым началом*** термодинамики, которое определяет необратимость происходящих в природе естественных процессов. Второе начало имеет много формулировок, одной из которых, самой простой и доступной пониманию, является формулировка, предложенная Р. Клаузиусом: *«Невозможен самопроизвольный переход теплоты от менее нагретого тела к более нагретому»*. Проявление этого закона в повседневной жизни достаточно очевидно. Если поставить на стол чайник с кипятком, то вода в нём будет остывать, отдавая тепло окружающему воздуху, который при этом будет немного нагреваться. Передача теплоты будет продолжаться до тех пор, пока температуры воды в чайнике и воздуха в комнате не сравняются, после чего теплообмен прекратится. Однако невозможно представить, чтобы вода в чайнике закипела *только за счёт того,* что окружающий воздух немного охладился. При этом второе начало не утверждает, что переход теплоты от более холодного тела к более нагретому вообще невозможен, оно говорит только о том, что этот процесс

не может происходить самопроизвольно. Возьмём обычный домашний холодильник. Его работа заключается именно в том, что он забирает теплоту из внутренней камеры и отдаёт её более тёплому окружающему воздуху. Но для того, чтобы это сделать, он должен получать энергию из внешнего источника – электрической сети. Перестаньте подавать в холодильник электроэнергию, и, как бы ни хороша была его теплоизоляция, рано или поздно температура в его камере сравняется с температурой воздуха в комнате.

Представим себе, что существует тепловая машина, состоящая из нагревателя, холодильника и рабочего тела. Машина является изолированной системой, т. е. ниоткуда не получает энергию и не отдаёт её внешней среде. Теплота переходит от нагревателя к холодильнику, заставляя рабочее тело совершать работу. Но в процессе этой работы количество теплоты в нагревателе, а следовательно, и его температура уменьшаются, а в холодильнике соответственно увеличиваются. Когда они сравняются, теплообмен прекратится, и работа в машине станет невозможна. Куда израсходовалась энергия, с помощью которой совершалась работа? Поскольку система изолирована, она никуда не могла исчезнуть, её количество осталось прежним, но она перешла из свободного состояния в связанное. Почему так получилось?

Рис. 13. Тепловая электростанция

Потому что в системе исчезла разница температур. Средняя

кинетическая энергия молекул рабочего тела осталась прежней, но, поскольку температуры нагревателя и холодильника сравнялись, в движении молекул исчезла всякая направленность, оно стало беспорядочным, хаотичным. А между хаотичностью движения молекул и связанностью энергии существует прямая связь. Для того чтобы обладать свободной энергией, молекулы должны двигаться преимущественно в одном направлении, а для этого между частями системы должно существовать какое-либо различие. Чем больше это различие, тем эффективнее работает машина. При любом процессе часть свободной энергии передаётся окружающим молекулам и вызывает их хаотическое тепловое движение. Поэтому вся имеющаяся в машине свободная энергия не может быть превращена в полезную работу – часть её перейдёт в беспорядочное движение молекул и будет навсегда потеряна для практических целей. Степень этой потери определяется ***коэффициентом полезного действия*** **(КПД)** машины, который выражает отношение полезной работы к затраченной энергии. Этот коэффициент, даже теоретически, в идеальных машинах, не может достичь 100 %, а в реально существующих механизмах он значительно меньше. Так, КПД современных тепловых электростанций и двигателей внутреннего сгорания не превышает 50 % (рис. 13). В самых эффективных из существующих двигателей – мощных динамомашинах (генераторах), где электрическая энергия производится непосредственно из механической и где почти не происходит тепловых потерь, КПД может достигать 95 % (рис. 14).

Поэтому второе начало термодинамики в формулировке Кельвина выглядит так: *«Невозможен процесс, единственный результат которого состоял бы в поглощении теплоты от нагревателя и полного преобразования этой теплоты в работу».*

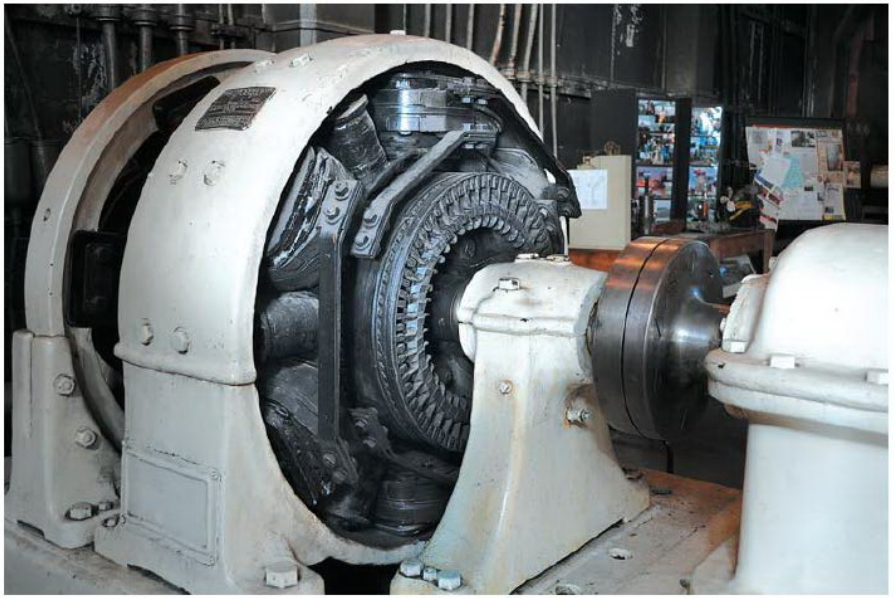


Рис. 14. Генератор постоянного тока (Музей электрических станций. Джорджтаун, Вашингтон) (автор фото Дж. Мейбл)

Теплоту невозможно просто отобрать у нагревателя, какое-то её количество надо обязательно передать холодильнику. А это значит, что холодильник должен получить свою долю энергии и именно на эту долю энергии уменьшится совершаемая работа. Из этого ни в коем случае не следует, что невозможен обратный процесс – полное преобразование других видов энергии в теплоту. При торможении автомобиля его кинетическая энергия полностью переходит в теплоту, что проявляется в нагревании покрышек, тормозных колодок и дороги при скольжении на тормозном пути. Однако заставить автомобиль двигаться, охладив все эти разогретые предметы, невозможно. Процесс рассеивания энергии протекает только в одном направлении. Таким образом, второе начало термодинамики утверждает, что в природе существует фундаментальная асимметрия: все природные процессы приводят к увеличению теплового движения молекул, т. е. к постепенному переходу энергии из свободного состояния в связанное. Обратный самопроизвольный процесс невозможен, и, для того чтобы увеличить в системе запас свободной энергии, требуется подвести её откуда-либо извне, допустим, из некой системы *X*, т. е. совершить над нашей системой работу. Однако в процессе извлечения работы из системы *X* часть её свободной энергии превратится в энергию хаотического движения молекул, т. е. опять станет связанной энергией. В результате суммарная свободная энергия нашей

системы и системы *X* уменьшится, а их общая связанная энергия возрастёт. Мы можем добавлять последовательно новые источники свободной энергии – «систему *Y*», «систему *Z*» и т. д. – результат будет тот же: суммарная свободная энергия этих систем будет уменьшаться, а их связанная энергия – возрастать. Поэтому можно сказать, что второе начало термодинамики утверждает, что все природные процессы постепенно переходят из упорядоченного состояния к хаотическому.

Если первое начало термодинамики, или закон сохранения энергии, запрещает существование ***вечных двигателей первого рода,*** то второе – доказывает невозможность существования ***вечных двигателей второго рода.*** Идея вечных двигателей второго рода строится на том, чтобы забирать теплоту у холодных объектов и с её помощью согревать более тёплые объекты. Например, почему бы не отапливать дома, отнимая какое-то количество теплоты у атмосферы? Температура воздуха на улице при этом снизится на доли градуса, зато в жилище станет заметно теплее. Почему не использовать теплоту, содержащуюся в Мировом океане? При его огромных размерах можно будет снабжать всё человечество теплом, снизив температуру воды всего на несколько десятых градуса. Закону сохранения энергии такие идеи не противоречат: общее количество энергии останется постоянным, мы просто переведём часть связанной энергии в свободную. Ведь если бы удалось запустить такой процесс, то потом можно было бы пустить его в обратном порядке, используя нагретый в доме воздух в качестве нагревателя, а остуженный воздух атмосферы – в качестве холодильника. При этом мы могли бы получить работу, как это и делается во всех тепловых машинах. Когда же температуры внутри и снаружи вернутся к своим первоначальным значениям, мы снова начнём откачивать тепло из холодной атмосферы, затем будем бесконечно повторять этот процесс, получая работу «из ничего». Однако все эти проекты потерпели неудачу, так как наталкивались на непреодолимость второго начала термодинамики, согласно которому свободная энергия не может увеличиваться исключительно за счёт уменьшения связанной.

Проверьте свои знания

1. Сформулируйте первое и второе начала термодинамики.
2. Что такое коэффициент полезного действия? Объясните, почему его величина никогда не может достичь 100 %.
3. Что такое вечный двигатель второго рода? Какое начало

термодинамики запрещает его существование?

Задания

Объясните с точки зрения законов термодинамики, почему в жарком климате Средней Азии коренное население традиционно предпочитало тёплые халаты лёгкой одежде и горячий чай прохладительным напиткам.

§ 7 Энтропия

– Валяться нужно, – с глубокой убеждённостью отвечал Горбовский.

– Это философски необходимо. Бессмысленные движения руками и ногами неуклонно увеличивают энтропию Вселенной. Я хотел бы сказать миру: «Люди! Больше лежите! Бойтесь тепловой смерти!»

Аркадий и Борис Стругацкие.
Полдень, XXII век

Мы убедились в том, что в естественных природных процессах постоянно происходит переход свободной энергии в связанную, а степень хаотичности движения молекул постоянно возрастает. По-видимому, требуется найти величину, которая бы позволила измерить соотношение обоих видов энергии и служить мерой её необратимого рассеивания. Такая величина была введена в 1865 г. Р. Клаузиусом и названа ***энтропией*** (от греч. «энтропиа» – внутреннее движение) (рис. 15).

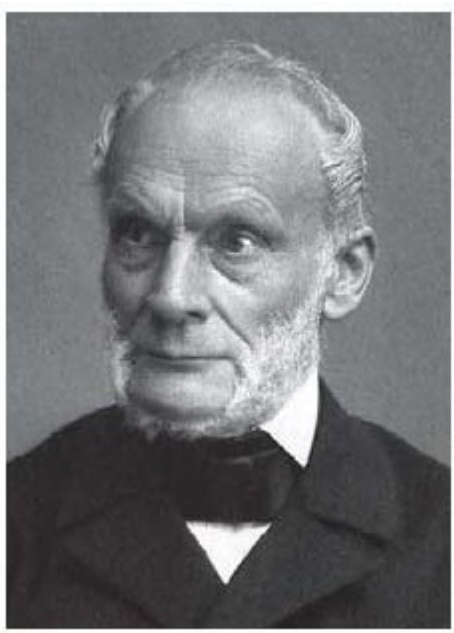


Рис. 15. Р. Клаузиус

Клаузиус определил изменение энтропии как отношение изменения общей теплоты в системе к её абсолютной температуре:

$\Delta S = \Delta Q/T$.

Следовательно, по мере поступления в систему теплоты её энтропия будет возрастать, а по мере потери теплоты – уменьшаться. Но из формулы следует, что степень изменения энтропии зависит ещё и от температуры, при которой происходит этот процесс. Рассмотрим, как изменится энтропия при отдаче или получении теплоты внутри системы.

Возьмём два одинаковых предмета, например кирпича, температура одного из которых равна T_1, а второго – T_2, причём $T_1 > T_2$, т. е. первый кирпич горячее второго. Приведём их в тепловой контакт, т. е. позволим им свободно обмениваться между собой теплотой. При этом система в целом останется изолированной. Если внешняя теплота в систему не поступает и своей теплоты система не теряет, то суммарное количество теплоты в ней остаётся постоянным. Что же будет происходить в такой системе? Очевидно, что через некоторое время горячий кирпич отдаст холодному какое-то количество теплоты ΔQ, а холодный ровно столько же её получит. Поскольку горячий кирпич теплоту потеряет, мы будем считать эту теплоту отрицательной $(-\Delta Q)$, а теплоту, полученную холодным кирпичом, – положительной. Посмотрим, как изменится значение энтропии при такой теплопередаче. Горячий кирпич отдал теплоту в количестве ΔQ. Следовательно, его энтропия *уменьшилась* на величину $\Delta Q/T_1$. А холодный кирпич получил то же количество теплоты, и его энтропия *увеличилась* на величину $\Delta Q/T_2$. Но $T_1 > T_2$, и, следовательно, уменьшение энтропии горячего кирпича по абсолютной величине оказывается меньше, чем увеличение энтропии холодного кирпича. Получается, что естественный процесс передачи теплоты от более нагретого тела менее нагретому сопровождается ростом энтропии. До тех пор пока горячее тело будет остывать, а холодное за его счёт нагреваться, энтропия изолированной системы будет расти. В конце концов, температуры обоих тел сравняются, и процесс теплопередачи прекратится. В этом случае $\Delta Q = 0$ и $\Delta S = 0$, т. е. количество энтропии будет оставаться постоянным. Поскольку передача теплоты от менее нагретого тела более нагретому невозможна, изменение энтропии никогда не может быть отрицательным. Следовательно, $\Delta S \geq 0$, т. е. *энтропия в изолированных системах никогда не уменьшается,* что также можно считать одной из формулировок второго начала термодинамики. Это же положение можно выразить и так: *«Все*

природные процессы сопровождаются увеличением энтропии».

В предыдущем параграфе мы говорили о том, что все самопроизвольные процессы сопровождаются выравниванием температуры в различных частях системы и переходом части свободной энергии в связанную энергию. Теперь мы видим, что этот процесс неизбежно сопровождается возрастанием некой физической величины, которую называют энтропией. Отсюда можно сделать вывод, что именно энтропия является мерой связанной, не способной совершать работу энергии. Математически это утверждение выражают уравнением Гиббса – Гельмгольца:

$$U = F + TS,$$

где U – полная внутренняя энергия, которой обладает система, F – свободная энергия этой системы, а TS – её связанная энергия, которая, как мы видим, равна произведению абсолютной температуры системы на её энтропию.

Это уравнение объединяет первое и второе начала термодинамики. Из него следует, что вся энергия, которой обладает система, не может быть превращена в работу. Работу можно совершать только за счёт затраты свободной энергии, а она, как следует из уравнения Гиббса – Гельмгольца, меньше, чем полная энергия системы:

$$F = U - TS.$$

Чем больше энтропия системы, тем меньше доля свободной энергии в полной энергии этой системы, тем меньшую работу она может совершать. Если система изолирована и в ней протекают самопроизвольные процессы, то в соответствии с первым началом термодинамики её полная энергия не меняется. Однако в соответствии со вторым началом её *свободная* энергия постепенно превращается в *связанную.*

В связи с этим возникает проблема, которая в течение многих лет волновала не только физиков, но и писателей-фантастов. Вселенная, как предполагают, является изолированной системой. А так как второе начало термодинамики утверждает, что в изолированных системах энтропия непрерывно возрастает, пока не достигнет максимума, то и энтропия Вселенной должна постоянно возрастать. Следовательно, когда-нибудь вся свободная энергия Вселенной перейдёт в связанную, температуры всех тел в ней выравняются, и никакую работу в ней совершить уже будет невозможно. Этот «конец света» Р. Клаузиус назвал ***«тепловой смертью Вселенной».*** Несмотря на то что тепловая смерть ожидалась не ранее чем через несколько миллиардов лет, многих это ожидание стало всерьёз беспокоить. Предпринимались многочисленные попытки опровергнуть гипотезу тепловой

смерти, но все они казались не очень убедительными, и беспокойство в обществе сохранялось. Однако последние исследования показывают, что эта гипотеза неверна, потому что Клаузиус и его последователи не принимали во внимание многие существующие во Вселенной факторы, и прежде всего наличие гравитации.

Вернёмся к вопросу о том, что же всё-таки представляет собой энтропия. Только что мы убедились в том, что увеличение энтропии сопровождается выравниванием температуры в различных частях системы. Однако запас свободной энергии в системе может сохраняться даже в том случае, когда значения температуры во всех её участках равны. Это может быть в случае, когда внутри сосуда, содержащего какой-либо газ, дует ветер. С молекулярной точки зрения это означает, что, хотя средние скорости движения молекул во всех частях сосуда равны по *модулю, направление* движения этих молекул неодинаково вдоль различных координат. Если ветер дует преимущественно вдоль оси X, то это означает, что средняя скорость движения молекул вдоль этой оси больше, чем вдоль осей *Y* и *Z*.

Рис. 16. Л. Больцман

Но если скорости различаются, то энтропия в системе не максимальна, и в ней можно совершить какую-либо работу. Например, можно установить вертушку, которая будет вращаться под действием ветра и производить электрическую энергию.

Значит, для того чтобы энтропия стала действительно максимальной, а вся имеющаяся в системе энергия – связанной, необходимо, чтобы не только средние скорости всех молекул были бы одинаковы по абсолютному значению во всех участках системы, но и все направления движения этих молекул были равновероятны.

Такое движение молекул называют беспорядочным или хаотичным. Следовательно, энтропия может служить мерой хаотичности движения молекул или мерой беспорядка в их движении. Такое статистическое обоснование энтропии предложил австрийский физик Людвиг Больцман (1844–1906), заложивший начало науки, которую называют *статистической физикой* (рис. 16). Однако впоследствии выяснилось, что понятие энтропии выходит далеко за рамки термодинамики и является одним из наиболее фундаментальных в исследовании окружающего нас мира.

Проверьте свои знания

1. С какой целью было введено понятие энтропии?
2. Как изменяется энтропия при протекании самопроизвольных процессов?
3. Что обозначают буквы в уравнении Гиббса – Гельмгольца: $\boldsymbol{U = F + TS?}$
4. Что такое «тепловая смерть Вселенной»? Вспомните, встречали ли вы какие-либо научно-популярные статьи на эту тему.
5. Что измеряется энтропией на молекулярном уровне?

Задания

Прочитайте и обсудите в классе научно-фантастический рассказ Айзека Азимова «Последний вопрос», посвящённый «тепловой смерти Вселенной».

§ 8 Энтропия и вероятность

Вопрос. Во сне приснились мышата и крысята в клетке, их было так много, я их кому-то показываю и открываю клетку, они разбегаются, а я их ловлю и в клетку обратно запихиваю! Вроде всех собрала обратно! К чему это?

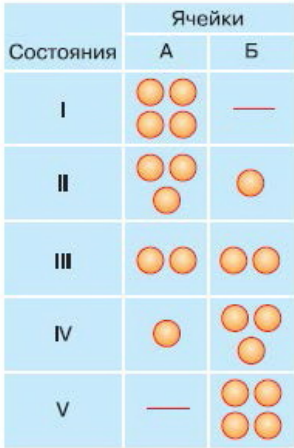
Ответ. Всякий процесс сопровождается равномерным распределением в пространстве и, соответственно, ростом энтропии. Обратный процесс возможен только с использованием внешнего воздействия.

Трактовка сновидений

Итак, что же можно измерить с помощью энтропии? Если бы всё сводилось только к движению молекул и тепловым процессам, понятие энтропии не получило бы такого широкого распространения и популярности и не вышло бы за границы термодинамики.

Энтропию можно использовать при изучении самых различных явлений, а не только тех, которые сводятся к кинетической энергии молекул. Что же именно может характеризовать энтропия в универсальной картине мира? Очевидно, то же самое, что и в термодинамике, – степень беспорядка и хаоса.

Предположим, что у нас имеется некоторое число ячеек, в которые можно помещать одинаковые предметы в любом количестве.



Ячейка А	Ячейка Б	
4 шарика	Нет шариков	Состояние I
3 шарика	1 шарик	Состояние II
2 шарика	2 шарика	Состояние III
1 шарик	3 шарика	Состояние IV
Нет шариков	4 шарика	Состояние V

Рис. 17. Схема возможных распределений шариков по ячейкам

В самом простом случае будем иметь дело всего с двумя ячейками и с четырьмя шариками, которые можно произвольно раскладывать по этим ячейкам. Обозначим ячейки как А и Б, а шарики пронумеруем – 1, 2, 3 и 4. Как можно распределить четыре шарика по двум ячейкам? На первом этапе мы не будем принимать во внимание номера шариков, а просто посмотрим, сколько их в каждой ячейке (рис. 17).

Легко убедиться в том, что существует пять вариантов расположения шариков. Обозначим их как состояния I, II, III, IV и V. Теперь обратим внимание на номера шариков и будем учитывать не только, *сколько* шариков находится в каждой ячейке, но и *какие именно* шарики там находятся. Мы увидим, что для каждого из состояний существует разное число способов размещения шариков. Состояние I можно осуществить единственным способом, поместив все четыре шарика в ячейку А. Состояние II допускает четыре способа распределения: в ячейке Б может оказаться любой из четырёх шариков. Состояние III (рис. 18) можно реализовать шестью способами. Наконец, состояния IV и V можно осуществить с помощью соответственно четырёх и одного вариантов, так же как и состояния II и I.

А теперь сравним вероятности того, что при случайном перемешивании шариков реализуется какое-либо из пяти возможных макросостояний. Вспомним сведения, которые мы получили ранее. Вероятность события определяется отношением

числа благоприятных событий к общему числу возможных событий. В данном случае общее число событий равно 1 + 4 + 6 + 4 + 1 = 16, т. е. четыре шарика можно распределить по двум ячейкам шестнадцатью способами. Поскольку состояния I и V можно реализовать единственным способом, вероятность того, что все шарики окажутся в ячейке А, так же как и вероятность того, что все они попадут в ячейку Б, будет равна $^1/_{16}$. Вероятность того, что в ячейке А (или Б) окажется один шарик, а остальные попадут в другую ячейку, равна $^4/_{16}$. Вероятность же того, что шарики расположатся равномерно, по два в каждой ячейке, составит $^6/_{16}$. Можно подсчитать эти вероятности для любого числа ячеек и для любого числа шариков (или молекул), и всякий раз мы будем убеждаться в том, что чем равномернее распределены предметы по ячейкам, тем вероятнее такое распределение. В этом нетрудно убедиться на любом примере. Насыплем в стакан с водой немного сахарного песка.

Сначала наибольшая концентрация сахарного сиропа будет возле дна стакана, но со временем сахар растворится, и концентрация выравняется по всему объёму.

Номера шариков	
Ячейка А	Ячейка Б
1 и 2	3 и 4
1 и 3	2 и 4
1 и 4	2 и 3
2 и 3	1 и 4
2 и 4	1 и 3
3 и 4	1 и 2

Способ	Ячейки	
	А	Б
1	1 2	3 4
2	1 3	2 4
3	1 4	2 3
4	2 3	1 4
5	2 4	1 3
6	3 4	1 2

Рис. 18. Реализация состояния III

Представить, что молекулы сахара самопроизвольно соберутся в некоторой части сосуда, практически невозможно, потому что вероятность такого события ничтожно мала.

Таким образом, вероятность состояния с равномерным распределением оказывается наибольшей по сравнению со всеми другими возможными состояниями, и все естественные процессы направлены в сторону достижения этого наиболее вероятного состояния. Но мы также знаем, что в результате всех природных процессов происходит увеличение энтропии. Напрашивается

вывод, что между вероятностью существования данного состояния и энтропией должна существовать связь. Эта связь действительно существует, и впервые её охарактеризовал Л. Больцман. Он имел в виду термодинамические процессы, а мы будем рассуждать в рамках наших ячеек и шариков.

Будем называть, как это сделал Больцман, наши состояния I–V ***макросостояниями.*** Макросостояние определяется тем, сколько шариков находится в данной ячейке, и не интересуется тем, какие шарики там находятся. В противоположность этому *микросостояние* определяется тем, какие именно шарики в какой ячейке находятся. Понятно, что, для того чтобы определить микросостояние, требуется более глубокое и внимательное изучение (например, цифры на шариках могут быть едва заметными), поэтому оно так и называется. Разным макросостояниям соответствует различное число микросостояний. Чем более равномерным является распределение шариков по ячейкам, тем больше вероятность такого макросостояния и тем больше микросостояний ему соответствует. Но для такого состояния характерна и наибольшая энтропия. Из этого Больцман сделал вывод, что *энтропию данного макросостояния можно измерить числом микросостояний, которым оно определяется.* Более точно, *энтропия пропорциональна логарифму этого числа.* В физике энтропию принято обозначать буквой *S*, поэтому формулу, выведенную Больцманом, можно представить так:

$$S = k \log W,$$

где k – коэффициент пропорциональности, а W – число микросостояний, соответствующих данному макросостоянию.

Состояние I, так же как и состояние V, определяется единственным микросостоянием. Так как логарифм единицы по любому основанию равен нулю, то и энтропия этих состояний равна нулю. Это значит, что в этих состояниях существует абсолютный порядок. Число микросостояний, которые определяют макросостояния I и IV, равно четырём, а значит, энтропия каждого из них равна log 4. Величина этого логарифма зависит от того, какое основание для логарифмирования мы выберем. Вообще говоря, основание может быть любым, так как в зависимости от этого изменится только коэффициент пропорциональности. Но по причинам, о которых вы узнаете в дальнейшем, нам будет удобно выбрать основание 2. Тогда энтропия макросостояний I и IV будет равна двум. Самым «беспорядочным» из наших макросостояний будет состояние III, которое может осуществиться шестью микросостояниями. Следовательно, энтропия этого, наиболее вероятного, состояния

равна логарифму 6 по основанию 2, что составляет приблизительно 2,6.

Проверьте свои знания

1. Что такое макро– и микросостояние?
2. Чему равна энтропия макросостояния, которое обеспечивается единственным микросостоянием?
3. Почему макросостояние, при котором число шариков в каждой ячейке одинаково, оказывается наиболее вероятным?
4. Какие у создателей статистической физики были основания сопоставить вероятность состояния с его энтропией?

Задания

Предположим, что у нас имеется 6 шариков, которые могут быть распределены по двум ячейкам.

А. Составьте таблицу, в которой будут указаны все возможные макросостояния.

Б. Составьте таблицу, в которой будут указаны все микросостояния для каждого макросостояния.

В. Найдите вероятность каждого макросостояния.

§ 9 Информация

Есть у меня шестёрка слуг,
Проворных, удалых,
И всё, что вижу я вокруг, —
Всё знаю я от них.

Они по знаку моему
Являются в нужде.
Зовут их: Как и Почему,
Кто, Что, Когда и Где.

Р. Киплинг

Любое живое существо постоянно передаёт во внешний мир какие-то сигналы, а также получает сигналы из окружающей его среды.

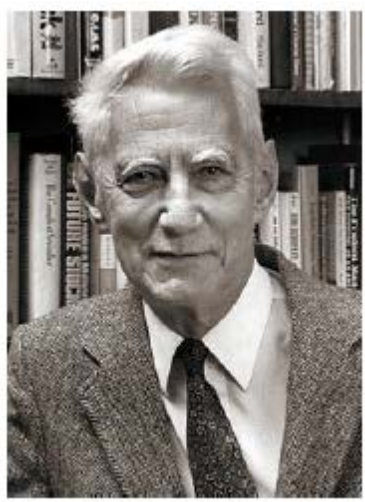


Рис. 19. К. Шеннон

Человеку свойственна непрерывная познавательная деятельность, в течение жизни он постоянно узнаёт что-то новое и что-то в устной или письменной форме сообщает другим людям. Мы постоянно передаём окружающим и получаем от них знаки и сообщения, содержащие сведения о мыслях, чувствах, мнениях или желаниях. Мир этих сообщений и способов их передачи кажется необъятным, не поддающимся никакому строгому формальному описанию, тем более в математической

форме.

Тем не менее в первой половине XX в. встал вопрос о необходимости введения количественной характеристики для передаваемых и принимаемых сообщений. Эта количественная характеристика вскоре получила название ***информация.*** Официально создателем теории информации считается американский инженер и математик Клод Шеннон (1916–2001), опубликовавший свою работу в этой области в 1948 г., хотя ещё в начале XX в. у него были предшественники (рис. 19). Работая в компании «Белл», Шеннон занимался процессами передачи сообщений, а во время Второй мировой войны много времени уделял процедуре шифрования (рис. 20). Перед исследователями, занимавшимися проблемами связи, стоял вопрос, как передать полезное сообщение с максимальной точностью и минимальными затратами. Для этого требовалось знать, сколько информации попало к потребителю и сколько её потерялось в процессе передачи. Поэтому количество информации необходимо было измерить.

Как можно измерить информацию? Прежде всего, надо уяснить, что информация – это не характеристика сообщения, а характеристика отношения между сообщением и его потребителем. Одно и то же сообщение может содержать огромную информацию для одного потребителя и нулевую – для другого, например для человека, незнакомого с языком, на котором передано это сообщение.

Логично предположить, что количество содержащейся в сообщении информации зависит от того, насколько это сообщение было неожиданным. Ведь если мы заранее знали всё, о чём нам сообщили, то никакой информации нам это сообщение не дало. Но как измерить степень неожиданности строгой количественной мерой? Допустим, получив сообщение, мы не узнали ничего нового. Это означает, что результат был известен нам и до сообщения и мы могли предугадать его с вероятностью, равной единице. Значит, единичной вероятности соответствует нулевая информация. Но если мы не были уверены в правильном ответе на интересующий нас вопрос, мы вместе с точным ответом получаем и какую-то информацию. Определить её количество можно, если представить себе, что такое самый простой вопрос. Очевидно, это такой вопрос, на который можно ответить либо «да», либо «нет».

Рис. 2 0. Лаборатория «Белл» в Мюррей Хилл (Нью-Джерси, США), работая в которой в 1948 г. Клод Шеннон опубликовал статью «A Mathematical Theory of Communication», одну из основополагающих работ по теории информации.

Если мы не имеем заранее никаких предположений, то, независимо от того, каким будет ответ, мы получаем одно и то же количество информации. Это количество представляет собой единицу информации и называется *бит*.

В том случае, когда ответ нельзя получить сразу, требуется задавать дополнительные вопросы. Самой эффективной для спрашивающего будет такая стратегия, когда он задаёт вопросы с возможными ответами «да» или «нет», причём вероятности получить тот или иной ответ кажутся ему одинаковыми. На этом строится широко известная игра в угадывание известного человека или кого-нибудь из присутствующих. Угадывающий мысленно разбивает ответы на две, как ему кажется, равновероятные части и задаёт вопрос, ответ на который может быть положительным или отрицательным. Каждый раз он получает информацию, равную одному биту. Количество полученной при угадывании информации равно числу вопросов, которые пришлось задать игроку. Искусство угадывания зависит от того, каким образом должен быть поставлен вопрос. Приведём один из возможных примеров такой игры. Допустим, требуется

угадать Исаака Ньютона. Можно представить, что игра проходит следующим образом.

1. *«Это государственный деятель?»* – *«Нет!»* – *2. «Занимался искусством?»* – *«Нет!»* – *3. «Занимался наукой?»* – *«Да!»* – 4. *«Биологией?»* – *«Нет!»* – *5. «Физикой?»* – *«Да!»* (Теперь можно угадывать либо по времени, в котором жил этот учёный, либо по его национальности. Первый вариант представляется более простым, так как большинство известных нам учёных жили либо в XIX, либо в XX в. Поэтому можно поставить следующие вопросы.) – *6. «Живёт в наше время?»* – *«Нет!»* – *7. «Жил в прошлом веке?»* – *«Нет!»* (Значит, он жил либо в XIX в., либо раньше.) – *8. «Жил в девятнадцатом веке?»* – *«Нет!»* (Значит, этот человек либо из Древней Греции, либо из XVI–XVIII вв., уточним.) – *9. «Жил после пятнадцатого века?»* – *«Да!»* (Большинство учёных этого времени жили в Англии, Италии или во Франции, поэтому попробуем угадывать по национальности.) – *10. «Англичанин?»* – *«Да!»* (Повезло! Из всех англичан, занимавшихся в это время наукой, самым известным был Ньютон. Теперь можно попробовать угадать напрямую.) – *11. «Ньютон?»* – *«Да!!!»* Ответ найден. Для этого потребовалось задать одиннадцать вопросов. Значит, мы получили одиннадцать бит информации? Не совсем так. Дело в том, что при таком угадывании многое зависит от интуиции и везения. Если бы мы начали угадывать национальность не с Англии, а сначала поинтересовались бы, не является ли он итальянцем, а потом – французом, нам пришлось бы задать на два вопроса больше. Наоборот, если бы мы не стали уточнять, какой именно наукой занимался учёный, а продолжали бы интересоваться, в какое время он жил, мы могли бы сэкономить два вопроса. Таким образом, оценка полученной информации, равная 11 битам, является очень приблизительной.

Как уже говорилось, количество содержащейся в сообщении информации неодинаково для каждого получателя этого сообщения и зависит от его предварительного знания. Поэтому объективно можно определить только ***максимальное*** количество этой информации, предполагая, что получатель заранее *не имеет никаких знаний* по этому вопросу. Предположим, что нам сказали, что Юпитер является самой большой планетой Солнечной системы. Какая информация содержится в этом сообщении? Для того, кто это знал заранее, – никакой. Для того, кто предполагал, но сомневался, – определённое количество, точно оценить которое трудно. Поэтому вычислим максимальную информацию, которую получает человек, не имеющий никакого понятия о планетах, и знает только их названия и то, что всего их имеется восемь. Сколько вопросов он должен задать, чтобы узнать, какая

из этих планет самая большая? Для удобства он располагает все планеты в алфавитном порядке: Венера, Земля, Марс, Меркурий, Нептун, Сатурн, Уран, Юпитер. Можно попробовать, конечно, просто перечислять планеты в этом порядке, но такой способ угадывания будет неудачным потому, что придётся задать семь вопросов и получить на все ответ «нет», пока мы не доберёмся до самой большой, но последней по алфавиту планеты. Поэтому правильнее будет поступить так: разделить все планеты на две равные группы и спросить, принадлежит ли самая большая к одной из них. Поскольку наш персонаж ничего не знает о планетах, кроме их названий, он может спросить: «Буква, с которой начинается название этой планеты, стоит в алфавите до Н?» – и получить отрицательный ответ. Вторым вопросом будет «Находится ли эта буква после С?». Ответом будет «да». Теперь осталось только выяснить, Уран это или Юпитер, с помощью одного вопроса. Таким образом, человеку, абсолютно несведущему в данной области, достаточно задать три вопроса, чтобы получить верный ответ. Следовательно, информация, содержащаяся в сообщении «Юпитер – самая большая планета Солнечной системы», равна 3 битам.

Предположим теперь, что в тексте наугад выбрана одна из 32 букв кириллицы (не будем учитывать «ё»). Как должен поступить человек, не знающий языка, чтобы, действуя наугад, узнать эту букву? Очевидно, он должен сначала выяснить, в какой половине алфавита находится эта буква. Затем он должен разбить эту половину, состоящую из 16 букв, на две восьмёрки и задать соответствующий вопрос. С помощью третьего вопроса он определит четвёрку, с помощью четвёртого – пару букв и, наконец, в результате *пятого* вопроса он узнает загаданную букву. Следовательно, информация, указывающая на определённую букву тридцатидвухбуквенного алфавита, равна 5 битам.

Проверьте свои знания

1. Может ли информация полностью определяться сообщением?
2. В каком случае сообщение не содержит информации?
3. Какое сообщение содержит 1 бит информации?
4. В каком случае и для какого получателя информация, содержащаяся в сообщении, оказывается наибольшей?
5. Где в биологии используется подобное пошаговое (повопросное) движение с двумя возможными вариантами

ответов («да»/«нет»)?

Задания

Попросите вашего одноклассника загадать кого-нибудь из ваших общих знакомых. Задавая вопросы, на которые он может отвечать «да» или «нет», определите, кого он загадал. Оцените в битах объём полученной вами информации.

§ 10 Информация, вероятность и энтропия

Быть объектом удивления приятно уже потому, что с этим связан почёт.

Аристотель

Попытаемся найти закономерность в проведённых выше вычислениях. Рассматривая примеры угадывания, мы неоднократно обращали ваше внимание на то, что все возможные варианты были для угадывающего *равновероятными.* Следовательно, вероятность правильности каждого ответа была равна единице, разделённой на число возможных вариантов. То есть чем больше вариантов, тем меньше вероятность справедливости каждого из них и тем больше вопросов надо задать, чтобы узнать правильный ответ. Мы уже видели, что, для того чтобы выяснить, какой из двух возможных вариантов правилен, надо задать один вопрос, при восьми вариантах – три вопроса, а при тридцати двух – пять вопросов. Если немного подумать, то нетрудно будет сообразить, что при четырёх вариантах достаточно задать два вопроса, при 16 – четыре, а при 64 – шесть. Для большей ясности составим таблицу (табл. 1).

Чем меньше вероятность правильного ответа, тем большую информацию мы получаем, выяснив его. То есть количество информации зависит от *«невероятности»* полученного сообщения. Чем невероятнее, чем удивительнее кажутся полученные сведения, тем больше информации в них содержится. А эта «невероятность» равна числу возможных вариантов, об истинности которых нам ничего не известно. Теперь остаётся найти формулу для этой зависимости. Посмотрев на таблицу, мы убедимся в том, что число вариантов во всех случаях равно двойке, возведённой в степень, равную полученной информации:

$$N = 2^J.$$

Следовательно, информация равна степени, в которую надо возвести 2 для того, чтобы получить N, т. е.

$$J = \log_2 N.$$

Эта величина называется логарифмом N по основанию 2 или двоичным логарифмом числа N.

Конечно, число возможных вариантов правильного ответа необязательно должно быть целой степенью числа 2. Это не должно нас смущать, потому что количество информации необязательно должно выражаться целым числом.

Таблица 1

Зависимость количества полученной информации от вероятности правильности ответа

Число вариантов (*N*)	Вероятность правильности каждого варианта ($P = 1/N$)	Число вопросов, которое требуется задать	Количество полученной информации (*J*)
1	1	0	0 бит
2	$^1/_2$	1	1 бит
4	$^1/_4$	2	2 бита
8	$^1/_8$	3	3 бита
16	$^1/_{16}$	4	4 бита
32	$^1/_{32}$	5	5 бит
64	$^1/_{64}$	6	6 бит

Например, если число вариантов равно пятидесяти, то, когда мы узнаем единственный правильный ответ, полученная информация будет равна степени, в которую надо возвести двойку для того, чтобы получить число 50. Нетрудно выяснить, что эта информация будет равна с точностью до третьего знака 5,644 бита.

Полученная формула информации практически в точности соответствует формуле Больцмана для энтропии (§ 8). Напрашивается предположение, что между энтропией и информацией существует большое сходство.

Рассмотрим этот вопрос подробнее. От чего зависит максимальная информация, которую можно получить, установив абсолютно точный ответ на поставленный вопрос? Чем более неопределённым было наше знание, чем меньше была вероятность угадать правильный ответ, тем большую информацию содержит сообщение, из которого мы этот ответ узнаем. По сути, наибольшая информация, которую мы можем получить из сообщения, равна количеству нашего первоначального незнания правильного ответа. Это первоначальное незнание можно измерить энтропией по той же формуле, по которой измеряется информация. Обозначив энтропию буквой *H,* получаем:

$$H = \log_2 N.$$

Мы видим, что формула такой энтропии совпадает с формулой Больцмана и, так же как и она, выражает степень беспорядка. Только если в термодинамике речь шла о беспорядке в расположении и движении молекул, то в теории информации этот беспорядок характеризует степень нашего незнания, неосведомлённости в данном вопросе, хаотичность и

беспорядочность в поиске выбора верного ответа. Энтропия по существу представляет собой отрицательную информацию, и её точно так же можно измерять в битах.

Когда мы получаем сообщение, содержащее неизвестную прежде информацию, энтропия нашего незнания уменьшается. Величина этого уменьшения как раз и определяет количество полученной информации. Если до получения сообщения энтропия как мера нашего незнания была H_0, а после его получения стала H_1, то содержащаяся в сообщении информация будет равна $H_0 - H_1$.

Большая часть экзаменационных тестовых заданий построена так, что требуется выбрать один правильный ответ из четырёх предложенных. Если вам ничего не известно по заданному вопросу и у вас нет никаких предположений о верности любого из вариантов, то энтропия задания для вас равна двоичному логарифму четырёх, т. е. 2. Когда вы узнаете точный ответ, энтропия станет равной нулю, и вы получите два бита информации. Теперь представим себе более сложный вид теста. Предлагается пять вариантов ответов и сообщается, что три из них верны. Количество способов, которыми можно выбрать три варианта из пяти, равно десяти[4]. Энтропия этого задания, следовательно, составляет для вас $\log_2 10$, что приблизительно равно 3,3. Как видно, эта энтропия выше, чем в предыдущем случае, и решение этого теста содержит больше информации. Узнав точный ответ, вы получите 3,3 бита. Допустим, что какая-то «добрая душа» подсказала вам, что варианты ответов А и В верны. Если предположить, что вы доверяете этой подсказке, сколько бит информации вы получили? Для этого надо выяснить, какой стала для вас энтропия теста после получения подсказки. Вам теперь известно, что единственный оставшийся правильный ответ надо выбрать из вариантов Б, Г и Д, а следовательно, энтропия равна $\log_2 3$, что равняется примерно 1,6. Подсчитаем убыль энтропии, которая будет равна количеству содержащейся в подсказке информации. До получения подсказки энтропия задания была $H_0 = 3{,}3$ бита. После её получения она составила $H_1 = 1{,}6$ бита. Отсюда получаем, что подсказка содержит $3{,}3 - 1{,}6 = 1{,}7$ бита информации. Но пока вы продолжаете думать над тестом, другая «добрая душа» подсказывает, что ответ Д неверен. Сколько информации содержится в этом сообщении? Вы теперь не знаете ответа только на варианты Б и Г, один из которых верен, а другой – нет, и вероятность правильности любого ответа равна $1/2$. Значит, оставшаяся энтропия теста составляет для вас 1 бит, в то время как до получения второй подсказки она равнялась 1,6 бита. А это означает, что последняя подсказка содержала 0,6 бит

информации.

Проверьте свои знания

1. Какая связь существует между полученной информацией и числом необходимых вопросов, которые требуется задать для получения точного ответа?
2. Что измеряется энтропией в теории информации?
3. Как связано изменение энтропии с полученной информацией?

Задания

1. На экзамене задан вопрос: «Какая из планет Солнечной системы находится ближе всех к Солнцу?» Названия планет экзаменуемому известны, но об их положении он ничего не знает. Какова энтропия экзаменуемого по этому вопросу? Какое количество информации он получит, узнав, что это Меркурий?
2. Экзаменуемому подсказывают, что ближайшая к Солнцу планета – это не Земля и не Марс. Сколько информации содержит эта подсказка?

§ 11 Свойства информации и двоичная система счисления

Все люди делятся на десять категорий: на тех, кто понимает двоичную систему счисления, и на тех, кто её не понимает.

Математическая шутка

Свойства информации

Мы рассмотрели случаи, когда вероятности всех возможных исходов представляются одинаковыми. Но так бывает далеко не всегда. Очень часто один вариант представляется нам более вероятным, а другой – менее вероятным. Какова будет энтропия в этом случае? К. Шеннон вывел формулу, которая позволяет вычислить энтропию при этом условии. Предположим, что имеется всего два варианта. Вам сегодня надо сдавать экзамен, на котором могут задать 10 вопросов, из которых 9 вы знаете блестяще, а по одному совсем не подготовились. Вероятность удачной сдачи экзамена равна, таким образом, $^{9}/_{10}$, а провала соответственно $^{1}/_{10}$. В назначенное время вы приходите на экзамен и получаете вопрос. Этот вопрос может либо обрадовать вас, либо расстроить. Какой будет информация в том и другом случае? Мы знаем, что информация тем больше, чем сильнее вы удивитесь, узнав результат. Естественно, удивление, а значит и полученная информация, будет больше, если вам достанется «неудачный» вопрос. Поскольку информация равна двоичному логарифму вероятности того, что полученный вопрос будет «удачным» или «неудачным», взятому с обратным знаком, то в первом случае $J_{\text{удачи}} = -1\log_2 {}^{9}/_{10} = 0{,}15$, а во втором $J_{\text{Неудачи}} = -1\log_2 {}^{1}/_{10} = 0{,}33$ Как видно, информация, полученная в случае маловероятной «неудачи», более чем в два раза выше той, которую мы получим в случае гораздо более вероятной «удачи». Теперь с учётом всего, что нам известно, подумаем, какова была для нас энтропия, касающаяся исхода экзамена. Мы знали, что, скорее всего (с вероятностью 0,9), получим небольшую информацию, но в одном случае из десяти можем получить (в нашем случае, к сожалению) информацию, значительно большую. Это означает, что, *чем большей* окажется информация, тем меньше

её вероятность, т. е. *тем реже* мы будем её получать. На этом и основана формула Шеннона для энтропии. Она выражает *среднюю* информацию, которую мы будем получать, если повторять испытание многократно. Для двух вариантов результата она выглядит так:

$$H = -(P_{\text{удачи}} \cdot \log_2 P_{\text{удачи}} + P_{\text{неудачи}} \cdot \log_2 P_{\text{неудачи}}).$$

Вычислим энтропию для нашего примера со сдачей экзамена. Вероятность успешной сдачи составляет 0,9, а её двоичный логарифм равен -0,15.

Вероятность провала равна 0,1, а её логарифм по основанию 2 соответствует -0,33. Значит, энтропия равна:

$$H = -[0{,}9\ (-0{,}15) + 0{,}1 \cdot (-0{,}33)] \approx 0{,}17.$$

Эта величина выражается в битах и означает степень нашей неосведомлённости по поводу результата экзамена.

Предположим теперь, что мы имеем дело с неизвестным учащимся, про степень подготовки которого мы *абсолютно ничего не знаем.* Как мы оценим вероятность его успеха или провала? Логично предположить, что надо считать и ту и другую равными 0,5, как говорится, «пятьдесят на пятьдесят». Просто у нас нет никаких оснований считать иначе. Какова будет энтропия в этом случае? Как нам известно, в случае равновероятных исходов энтропия равна двоичному логарифму их количества. Таких исходов у нас два – либо сдаст, либо не сдаст. Значит, в этом случае степень нашего незнания результата экзамена равна 1 биту, что значительно больше, чем в предыдущем случае. Почему так получилось? Потому что про второго экзаменуемого нам не было ничего известно, в то время как в отношении себя мы знали, насколько различаются вероятности успешной или неуспешной сдачи экзамена. Это знание вероятностей и снизило энтропию. На сколько? Очевидно, на величину разницы энтропий для двух

различных случаев, т. е. на 1 – 0,17 = 0,83 бита. Формула Шеннона показывает, что чем больше степень нашего незнания, тем большей получается величина энтропии.

В реальной жизни при выборе решения мы почти всегда исходим из того, что обладаем некоторой предварительной информацией по этому вопросу. Эта информация снижает исходную энтропию выбора. Например, нам пришлось задать всего одиннадцать вопросов для того, чтобы узнать, что загадан именно Ньютон. Предварительная информация перед угадыванием заключалась в том, что задуманным должен быть человек, скорее всего известный как загадывающему, так и отгадывающему. Вряд ли игрок имел в виду младшего сына любимого раба римского сенатора Информациуса, жившего во II в. до н. э. Сколько на Земле жило достаточно общеизвестных людей? Надо думать, что не более нескольких тысяч. Если для отгадывания Ньютона нам пришлось задать одиннадцать вопросов, значит, полученная информация составила 11 бит, а количество возможных вариантов выбора было равно $2^{11} = 2048$. Вряд ли количество известных всем знаменитостей намного больше этого числа. Ну, допустим, что играющие – очень эрудированные люди и знают в пять раз больше знаменитых людей, т. е. около десяти тысяч человек. В этом случае для угадывания им будет достаточно задать не более четырнадцати вопросов, так как логарифм 10 000 по основанию 2 равен приблизительно 13,3.

А что будет в том случае, если мы не имеем никакой предварительной информации? Допустим, что мы имеем дело с авантюристом, который всё-таки загадает младшего сына любимого раба. Вы думаете, что для отгадывания надо будет задать невероятно большое число вопросов? Вовсе нет. Количество всех людей, живших на Земле в обозримый исторический период, вряд ли превышает 10 млрд. А двоичный логарифм этого числа равен 29,9. Так что, задав всего 30 вопросов, вы можете угадать любого человека из всех когда-либо живших. Разумеется, для этого требуется умение правильно задавать вопросы.

В этом заключается одна из особенностей информации – её количество растёт значительно медленнее, чем число вариантов выбора. Это связано с тем, что информация представляет собой логарифм числа выборов, а логарифмическая функция обладает такой особенностью, что при увеличении аргумента *во* столько-то раз её значение изменяется *на* столько же единиц. То есть, *по мере того как широта выбора растёт в геометрической прогрессии, информация растёт в арифметической прогрессии.*

Это свойство информации многих очень удивляет, но именно оно представляет огромную ценность для создания компьютеров, где используют так называемую двоичную систему кодирования информации. С помощью только двух цифр – 0 и 1 – выражают любое число. В десятичной системе, которую мы обычно используем, – десять цифр от 0 до 9. Следующее число пишется как 10, что означает один полный десяток и ноль цифр второго десятка. Затем мы увеличиваем число единиц во втором десятке, пока не дойдём до 19. Число 20 говорит нам, что имеется два полных десятка и ни одного числа третьего десятка. Так продолжается до тех пор, пока счёт не достигнет 99. После этого мы добавляем ещё один разряд – сотни, т. е. квадраты десяток. Число 145 означает, что в нём содержится одна сотня, четыре десятка второй сотни и пять единиц пятого десятка второй сотни. Далее мы продолжаем счёт, вводя, когда потребуется, третьи, четвёртые и дальнейшие степени десяти.

В двоичной системе нет цифр, означающих числа, большие единицы. Поэтому уже для обозначения двойки нам приходится использовать число 10, которое означает: «одна полная двойка и ноль чисел во второй двойке». Далее идёт число 3, которое пишется как 11: «одна полная двойка и одно число второй двойки». Следующим числом будет 4, а это квадрат двойки. Значит, и писать его надо так, как в десятичной системе пишется квадрат десятки, т. е. 100. Теперь посмотрим, как можно изобразить любое число в двоичной системе. Допустим, мы хотим это сделать для тех же ста сорока пяти. Сначала надо узнать, сколько в этом числе содержится целых степеней двойки. Находим, что 2^7 равно 128, что меньше 145, а 2^8 – уже 256, что превышает это число. Значит, сто сорок пять равно двум в седьмой степени (2^7), что записывается как единица с семью нулями (10 000 000), плюс 17 (145 – 128). Выразим 17 в двоичной системе: 16, т. е. 2^4 (записывается как единица с четырьмя нулями – 10 000), плюс 1. После этого посмотрим, как выглядит число 145 в двоичной системе. Для этого надо сложить все числа, которые мы получали в процессе вычисления: 10 000 000, 10 000 и 1. Следовательно, выражая это число в двоичной системе, мы получаем: 10 000 000 + 10 000 + 1 = 10 010 001.

Казалось бы, такая система слишком громоздка и неудобна для записи и вычислений. Но она является незаменимой в создании электронных устройств и вычислительной техники. Все электронные устройства состоят из отдельных элементов. Чем меньше значений может принимать каждый элемент, тем проще

изготовить такие элементы. Две цифры двоичной системы могут быть легко представлены многими физическими явлениями: есть ток – нет тока, температура выше заданной – температура ниже заданной и т. п. Кроме того, чем меньше число возможных состояний элемента, тем надёжнее и быстрее он может работать. К тому же техническим устройствам значительно проще выполнять арифметические вычисления, используя двоичную систему. Например, для того чтобы сложить числа 12 и 36, надо закодировать в памяти машины значения четырёх цифр, в то время как в двоичной системе эта операция выглядит так: $(2^3 + 2^2) + + (2^5 + 2^2) = 1000 + 100 + 100\ 000 + 100$. Поставьте себя на место машины, и вы поймёте, что такую операцию выполнить значительно проще.

Поскольку в двоичной системе существует всего две цифры, то при решении какой-либо задачи требуется на каждом шагу рассуждения или вычисления выбирать один из двух одинаковых вариантов, т. е. тратить информацию, равную одному биту. А так как количество возможных вариантов решения возрастает значительно быстрее, чем число сделанных шагов, то, используя сравнительно небольшое количество двоичных действий, можно осуществить выбор из огромного числа разнообразных решений или комбинаций. Именно на этом принципе строится работа современных компьютеров.

Проверьте свои знания

1. Как зависит энтропия незнания ответа на какой-либо вопрос от того, насколько равны вероятности всех возможных ответов на него?
2. Как изменяется величина информации с ростом числа возможных ответов на интересующий нас вопрос?
3. Чем различается написание чисел в десятичной и двоичной системах?

Задания

1. Подсчитайте, сколько вопросов, допускающих ответы «да» или «нет», требуется задать для того, чтобы установить одного из жителей города с населением 65 тыс. человек.
2. Выразите номер этого параграфа в двоичной системе.

§ 12 Ценность и избыточность информации

…Нелегко с Кощеем сладить: смерть его на конце иглы, та игла в яйце, то яйцо в утке, та утка в зайце, тот заяц в сундуке, а сундук стоит на высоком дубу, и то дерево Кощей как свой глаз бережёт.

Царевна-лягушка. Русская сказка

Используя уравнения теории информации, мы можем вычислить, какое количество информации содержится в полученном сообщении. Но оценив значение информации в нашей жизни и в окружающем нас мире, мы увидим, что это количество далеко не всегда определяет важность, ценность или полезность этого сообщения. Предположим, вы претендуете на престижное место работы или на место для обучения в известном университете. После предварительного отбора вы становитесь одним из двух претендентов на это место, причём шансы у обоих приблизительно равны. Вы переживаете и не даёте себе покоя в течение нескольких дней и наконец получаете сообщение, в котором говорится, что вы приняты. Это сообщение радикально меняет вашу жизнь, вашему счастью нет предела… А сейчас задумайтесь, сколько информации оно вам принесло. Всего один бит. Теперь представьте себе, что вы уронили монету и, перед тем как её поднять, заметили, что она лежит цифрой кверху. Это наблюдение принесло вам один бит информации, т. е. ровно столько же, сколько в предыдущем случае.

Но согласитесь, что оценка и последствия двух этих событий между собой несоизмеримы.

Поэтому в современной информатике помимо количества информации рассматривается её ценность. Ценность информации зависит от цели, которую преследует получатель этой информации. Если цель наверняка достижима, то можно определить ценность информации в соответствии с тем, насколько она уменьшает усилия или время, требуемые для достижения этой цели. Такой ценностью обладает информация, содержащаяся в поисковых системах, справочниках и каталогах. Если же достижение цели необязательно, то, для того чтобы определить ценность информации, можно воспользоваться такой формулой:

$$V = (P - p)/(1 - p).$$

В этой формуле V означает ценность информации, p – вероятность достижения цели до получения информации, а P – после её получения. Если после того, как вы получили сообщение, вы наверняка достигнете цели, то $P = 1$ и ценность полученной информации равна единице, т. е. своему наибольшему значению. Если же после этого сообщения вероятность достижения цели не изменилась, то $P = p$ и ценность сообщения равна нулю.

Ценность информации далеко не всегда зависит от её количества. Предположим, что вам предложено решить тестовое задание, где из четырёх возможных ответов требуется выбрать один верный. Узнав ответ, вы получите информацию, величина которой равна 2 битам, а ценность – единице. Если же вам предложат выбор из шестнадцати вариантов, то в этом случае правильный ответ принесёт вам 4 бита, а ценность полученной информации останется прежней, так как и в том и в другом случае вы в результате достигаете поставленной цели – справиться с заданием. Информацию, которая не содержит никакой ценности, называют ***шумом.*** Одна и та же информация может обладать различной ценностью. Так, если по телевизору передают репортаж о спортивном состязании, то для зрителя, интересующегося спортом и болеющего за одну из играющих команд, получаемая информация представляет огромную ценность, тогда как для его соседа, думающего о чём-либо другом или читающего книгу, репортаж представляется шумом.

Важной характеристикой информации служит её избыточность. Избыточная информация присутствует практически в любом тексте. Изначально избыточность текста появляется из-за того, что вероятность встречаемости букв в алфавите русского, как и любого другого, языка неодинакова. Если проанализировать

встречаемость различных букв в русском тексте, то мы увидим, что в половине случаев мы обнаружим буквы О, Е, А, И, Т, Р или Н, и меньше 5 % придётся на долю букв Ю, Ж, Х, Щ, Ф, Ш, Э, Ц, И, Ъ. С учётом неравномерной встречаемости букв энтропия алфавита русского языка равна не 5 битам, а всего 4,39 бита. Отношение максимальной энтропии к реальной и определяет её избыточность.

В действительности избыточность языка оказывается ещё большей из-за того, что в языке существуют устойчивые пары или тройки сочетаний букв, вероятность появления которых значительно больше, чем у других сочетаний. Если учесть вероятность появления различных сочетаний двух букв, то энтропия становится равной 3,52, а при учёте вероятности сочетаний трёх букв – 3,05 бит/букву[5]. Благодаря этому часто даже при потере значительной части букв текст удаётся восстановить, т. е. извлечь из него всю изначально содержащуюся информацию. Классический пример можно найти в книге Жюля Верна «Дети капитана Гранта». В записке, которую извлекли из желудка акулы, было смыто морской водой 170 букв из 250. Паганель не смог полностью расшифровать испорченный текст, но ему удалось извлечь из него достаточно информации, чтобы после нескольких попыток найти потерявшуюся экспедицию. Тексты с меньшим числом потерянных знаков часто можно восстановить полностью.

Допустим, вам встретилось слово, в котором есть такое сочетание: «Б, затем утерянный знак, затем Ф». Восстановить это испорченное слово будет не так уж трудно. Скорее всего, в голову придёт что-то съедобное: «бифштекс», «ростбиф», «бефстроганов» или «буфет»; может быть, вспомните ещё «буфер», а вот дальше у вас начнутся затруднения. Набор будет очень ограничен ещё из-за того, что буква «Ф» в русском языке встречается очень редко, практически только в словах, заимствованных из других языков. Но и при более простых сочетаниях восстановить текст нетрудно в том случае, когда небольшая его часть утрачена. Особенно просто это сделать с текстом, в котором содержатся знакомые, часто употребляемые выражения. Сможете ли вы, например, прочитать такое объявление:

«До..лни…ь.ые к.н.уль.а..и п. м…ма..ке .у..т пр.в..ить.я в. …рник .осл. пя..г. ур..а»?

Из этого объявления «выпала» почти половина знаков, и тем не менее нетрудно восстановить его полный текст[6].

Различные виды текстов обладают различным количеством избыточной информации. Если вспомнить, что мерой величины информации служит её неожиданность, то часто можно услышать

или прочесть в сети тексты, содержащие практически нулевую информацию. Вот типичный пример:

– Привет!
– Привет!
– Ну как ты?
– Нормально. А ты?
– И я нормально.
– Ну, хорошо. А я вот иду, смотрю, ты тут стоишь.
– Ну да. Ну что, пока?
– Пока. Ну, я пошла.

Часто большой избыточной информацией обладают художественные, особенно поэтические тексты. У некоторых поэтов-авангардистов встречаются тексты, абсолютно лишённые какого-либо смысла, где вся информация основана только на грамматических связях. Вот отрывок из произведения русского поэта начала прошлого века Велимира Хлебникова:

«Хатославль песен певучего слога, старомилы, шкурники, баромилые годы, брюхомолы, особая порода самобожеств, пузомолы, брюховеры, смежни зарёю главной, мозговеры».

Каждая ситуация, каждый текст требуют своего уровня избыточной информации. Преимуществом избытка информации может быть либо эстетическое качество художественного произведения, либо его лучшее понимание. Если бы тексты не содержали избыточной информации, их восстановление после повреждения стало бы невозможным.

Рис. 21. Сообщения, не содержащие избыточной информации

Поэтому в тех случаях, когда цена ошибки в понимании текста может быть слишком высокой, используют сообщения с большой избыточной информацией. К ним относятся, например, переговоры авиадиспетчеров. С другой стороны, избыточная

информация требует большего времени для своего восприятия и большего количества знаков для передачи сообщения. Поэтому в тех случаях, когда сообщение требует конкретных, обязательных действий, оно не содержит или почти не содержит избыточной информации. Таковы, например, указатели «Прохода нет», «Посторонним вход воспрещён», «Высокое напряжение» и т. п. (рис. 21).

Проверьте свои знания

1. От чего зависит ценность полученной информации?
2. Как называется информация, не несущая никакой ценности?
3. С чем связана избыточность информации языка?
4. В каких случаях большая избыточность текста оказывается полезной? Приведите примеры помимо тех, что указаны в параграфе.

Задания

1. Придумайте примеры высказываний с минимальной и избыточной информацией.

2. Оцените значение информации о современном обществе. Раскройте смысл высказывания премьер-министра Великобритании Уинстона Черчилля «Кто владеет информацией, тот владеет миром».

§ 13 Самоорганизующиеся системы

Жил кораблик весёлый и стройный:
Над волнами как сокол парил.
Сам себя, говорят, он построил,
Сам себя, говорят, смастерил.

Сам смолою себя пропитал,
Сам оделся и в дуб, и в металл,
Сам повёл себя в рейс – сам свой лоцман,
Сам свой боцман, матрос, капитан.

Новелла Матвеева

Вернёмся к вопросам, связанным с термодинамикой и термодинамическими системами. Мы знаем, что в том случае, когда система изолирована от внешней среды, в ней либо не происходит никаких процессов, либо происходят процессы, сопровождающиеся ростом энтропии и увеличением хаоса. Именно такие системы изучает классическая термодинамика. Но в действительности нам почти никогда не приходится иметь дело с изолированными системами. Все живые организмы – это открытые системы, которые постоянно поглощают и выделяют вещество и энергию. Неживые системы тоже в большинстве своём являются открытыми – энергия, приходящая от Солнца, нагревает моря или скалы, что приводит к испарению воды и изменениям скорости некоторых химических реакций (рис. 22). Представим себе систему, которая поглощает из некоторой области окружающей среды вещество или энергию и одновременно отдаёт это вещество или энергию в другую область окружающей среды. Тогда мы говорим, что через систему проходит *поток* вещества или энергии. Например, если предмет подогревать с одной стороны и одновременно охлаждать с другой, то через него будет непрерывно проходить поток теплоты.

Рис. 22. Перистые облака являются примером самоорганизующейся системы в неживой природе

Река представляет собой поток воды, постоянно переносимый от высоко расположенного истока к находящемуся ниже устью. Открытые системы не находятся в равновесии с окружающей средой, потому что в случае равновесия не будет существовать входящих и выходящих потоков. Такие системы называют неравновесными, а науку, которая их изучает, называют *термодинамикой неравновесных систем.* Впервые разработкой теории таких систем занялся в начале 30-х гг. XX в. норвежско-американский физик Ларс Онзагер (1903–1976), а наибольший вклад в её развитие внёс бельгийский физик и химик российского происхождения Илья Романович Пригожин (1917–2003)(рис. 23).

Рис. 23. И. Р. Пригожин

Когда значения физических величин в системе не очень отличаются от тех, которые существуют в окружающей среде, говорят, что система находится близко к равновесию. В этом случае проходящие через неё потоки будут прямо пропорциональны вызывающей их причине. А причина, как вам уже известно, заключается в том, что между участками системы и окружающей её среды существуют определённые различия: электрические заряды движутся благодаря разности потенциалов источника тока, ветер дует из-за перепада давления в разных участках атмосферы и т. д. Если такие различия не слишком велики, то скорости потоков пропорциональны силе действующих факторов. Примерами могут служить закон Ома, где сила тока пропорциональна разности потенциалов, или закон, согласно которому скорость передачи теплоты от горячего тела к холодному пропорциональна разности их температур. Если все входящие в систему потоки равны всем выходящим потокам, то говорят, что система находится *в стационарном состоянии.* Наглядным примером стационарного состояния служит бассейн, в который за единицу времени поступает столько же воды, сколько из него вытекает. Уровень воды в этом бассейне всегда будет оставаться постоянным, хотя бассейн, несомненно, является открытой системой и постоянно обменивается веществом (водой) с окружающей средой. Очень важно, что потоки в таких системах обладают очень большой устойчивостью. Если их течение будет

временно нарушено каким-либо случайным воздействием (например, в медленно текущую реку бросить камень), то через непродолжительное время порядок будет восстановлен (равномерное движение воды в реке будет продолжаться).

Однако в том случае, когда различия, вызывающие потоки, становятся слишком велики, т. е. когда системы становятся сильно неравновесными, такая пропорциональность исчезает, а вместе с ней исчезает и устойчивость равномерного движения потоков.

Рис. 24. Горный поток (А) и равнинная река (Б)

Сравним поверхность воды в медленно текущей равнинной реке и в мчащемся горном потоке (рис. 24). В первом случае скорость течения невелика, и все слои воды движутся почти параллельно друг другу. На поверхности воды не обнаруживается никаких выпуклостей и впадин. Такое течение называют ламинарным. Если же мы посмотрим на горный поток, то увидим на его поверхности сложный рисунок с поворотами, завихрениями и другими признаками неравномерности течения. Причём такой рисунок будет довольно устойчивым и будет сохранять свой вид в течение долгого времени, несмотря на то что через этот участок ежесекундно проносится огромное количество воды. Это значит, что траектории этих слоёв воды подчиняются не простому закону «двигайся сверху вниз», а каким-то более сложным правилам, которые *организуют* эти траектории. Это означает, что в потоке возникает самоорганизация.

В лабораторных условиях можно наблюдать поразительный пример движения масла, приводящего к спонтанной самоорганизации. Такой опыт можно провести даже на собственной кухне. Возьмите сковороду с плоским дном, налейте в неё немного масла, смешанного с каким-нибудь порошком для того, чтобы было заметно движение жидкости, и поставьте её на слабый огонь. Нижний слой масла будет разогреваться в первую очередь, возникнет разница температур между дном и поверхностью масла и движение масла от дна к поверхности. Охладившись на поверхности, остывшие участки масла будут опускаться вниз.

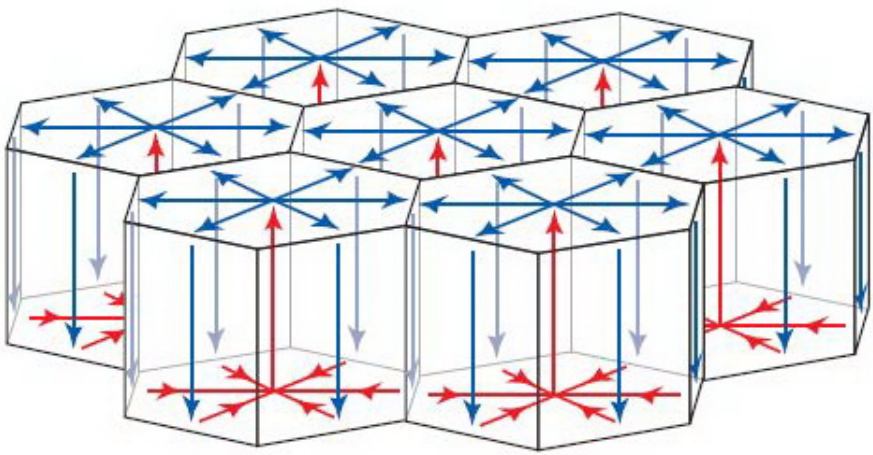


Рис. 25. Ячейки Бенара и схема их образования

Вначале это движение будет хаотичным. Но когда различие температур в глубоком и поверхностном слое достигнет определённого уровня, движение участков масла станет согласованным. Мы увидим, как на поверхности жидкости образуются правильные шестиугольные ячейки, в середине которых частицы порошка движутся вверх, а по краям, т. е. на местах соприкосновения этих ячеек, – вниз. Эти ячейки называются ***ячейками Бенара,*** по имени впервые описавшего их исследователя (рис. 25). С точки зрения термодинамики Больцмана вероятность такого упорядоченного состояния почти равна нулю. И всё же самоорганизация происходит!

В чём причина такого странного и даже невероятного явления? Проще ответить на этот вопрос, используя вместо традиционного для физики слова «причина» непринятое для этой науки понятие «цель». Тогда вопрос надо поставить так: зачем это происходит? Очевидно, что такое упорядоченное движение молекул обеспечивает более эффективную теплопередачу, так как

молекулы не сталкиваются друг с другом, т. е. «не путаются друг у друга под ногами». Воспользуемся аналогией, предложенной Г. Хакеном, о котором мы ещё будем упоминать в дальнейшем (рис. 26). «Представим себе бассейн, в котором люди плавают из одного конца в другой. Если пловцов очень много, то они будут постоянно оказываться друг у друга на пути. Чтобы избежать подобной сутолоки в открытых бассейнах, переполненных желающими искупаться в жаркий день, некоторые смотрители запускают пловцов по кругу, так что они теперь мешают друг другу гораздо меньше. Коллективное движение по кругу «предписано» пловцам смотрителем бассейна, однако не исключено, что они и сами могли додуматься до чего-то подобного: сначала, возможно, в этом участвовали всего несколько человек, но со временем к ним присоединились бы и другие – те, кому эта идея понравилась бы и такой способ плавания оказался бы удобнее. Так, в конце концов, может возникнуть коллективное движение; поскольку это происходит при отсутствии внешнего организатора, можно говорить о самоорганизации. Пример с жидкостью показывает, что и Природа поступает точно так же».

Рис. 26. Бассейны с хаотично плавающими людьми (А) и людьми, плавающими по кругу (Б)

Каким же образом происходит самоорганизация движения молекул? Считается, что это происходит в результате того, что в хаотическом движении молекул могут случайно возникать «микроупорядоченности». Большая их часть оказывается бесполезной и быстро разрушается. Однако если движение случайно сложившейся группы молекул оказывается более выгодным, то к этой группе начинают присоединяться другие молекулы. Упорядоченный процесс разрастается и в конце концов захватывает всю систему.

Для того чтобы быть самоорганизующимися, физические структуры должны постоянно поглощать и выделять, т. е. пропускать через себя, большое количество энергии. Такие структуры называют ***диссипативными*** (от «диссипация» – рассеивание), потому что они поглощают и рассеивают энергию. В следующем параграфе мы рассмотрим устройство лазеров – одной из используемых в практике диссипативных систем.

Проверьте свои знания

1. Сравните изолированные и открытые системы. Какие из них более распространены в природе?
2. Приведите пример системы, через которую проходит поток вещества и энергии.
3. Дайте определение стационарного состояния открытой системы.
4. Чем отличается движение воды в горном потоке от её течения в равнинной реке?
5. Используя рисунок 25, объясните, как происходит образование ячеек Бенара.
6. Что такое диссипативные структуры?

Задания

Используя материал параграфа, организуйте и проведите работу по получению ячеек Бенара. Сфотографируйте или снимите на видео результат вашего эксперимента.

§ 14 Лазеры как неравновесные самоорганизующиеся системы

Хлынов указал на светящуюся прямую, как игла, нить. Она шла сверху от развалин по направлению заводов Анилиновой компании. Путь её обозначался вспыхивающими листочками, горящими клубками птиц. Теперь она светилась ярко, – большой отрезок её перерезывал чёрную стену сосен.

– Она опускается! – крикнул Вольф. И не окончил. Оба поняли, что это была за нить. В оцепенении они могли следить только за её направлением. Первый удар луча пришёлся по заводской трубе, – она заколебалась, надломилась посредине и упала. Но это было очень далеко, и звук падения не был слышен.

Почти сейчас же влево от трубы поднялся столб пара над крышей длинного здания, порозовел, перемешался с чёрным дымом. Ещё левее стоял пятиэтажный корпус. Внезапно все окна его погасли. Сверху вниз, по всему фасаду, побежал огненный зигзаг, ещё и ещё… Хлынов закричал, как заяц… Здание осело, рухнуло, его костяк закутался облаками дыма.

А. Н. Толстой. Гиперболоид инженера Гарина

Принцип работы лазера

Типичным примером системы, поглощающей и рассеивающей большое количество энергии и способной в результате этого к самоорганизации, служат лазеры – устройства, широко

используемые в самых различных областях человеческой деятельности. Само слово «лазер» образовано в результате сокращения его английского названия light amplification by stimulated emission of radiation – усиление света посредством вынужденного излучения. Другое название лазера – оптический квантовый генератор. Рассмотрим в общих чертах принцип его устройства. Для этого вспомним, что говорилось ранее о природе света. Квант света (фотон) испускается атомом в том случае, когда электрон переходит с верхней орбиты, обладающей высокой энергией, на нижнюю, энергия которой меньше. От разницы между энергиями верхней и нижней орбит зависит энергия фотона, которая проявляется в частоте излучения. Если систему «накачивать» электрической, химической или какой-либо другой энергией, электроны в атомах будут переходить на более высокие орбиты, а затем, спускаясь обратно, излучать кванты света.

В лазерах используют расположенные друг против друга зеркала, которые заставляют свет двигаться строго вдоль оси трубки. Световые волны принуждают возбуждённые атомы к монохроматическому излучению (от греч. «моно» – один и «хрома» – цвет).

Лазерное излучение обладает ещё одной важной особенностью. Посмотрим на рисунок (рис. 27). Все лучи света, направление которых не перпендикулярно плоскости зеркал, довольно быстро покидают активную среду лазера. Поэтому синхронизованное излучение испускается только в одном направлении в виде тонкого луча, в котором сконцентрирована вся световая энергия, генерируемая лазером. Понятно, что мощность такого излучения огромна. Некоторые лазеры испускают энергию не непрерывно, а в виде чрезвычайно коротких импульсов, длительность которых может быть меньше, чем 10^{-15} с, т. е. миллионной миллиардной доли секунды.

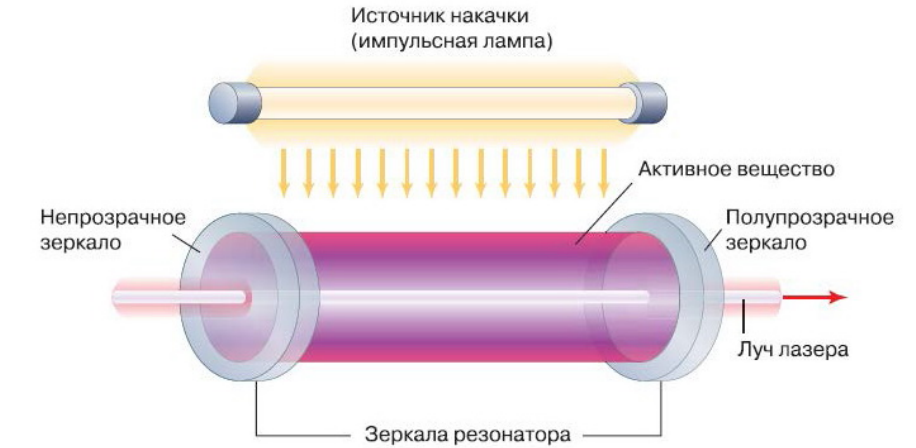


Рис. 27. Схема устройства и работы лазера

Сосредоточение всей энергии в таком коротком импульсе многократно увеличивает его мощность.

Работу лазера можно пояснить с помощью такой аналогии. Представьте себе большой зал, заполненный людьми, некое подобие дискотеки, только без музыки. Присутствующие пришли потанцевать, но так как никакой внешний ритм не задаётся, то каждый топает и подпрыгивает, как ему вздумается. Вдруг несколько человек, находящихся в разных концах зала, находят удачный, как им кажется, ритм и начинают поддерживать его с помощью ног или голоса. Ближайшие соседи этот ритм подхватывают, и образуется несколько групп, танцующих каждая в своём ритме. Но раздающиеся одновременно ритмы сбивают, и вот уже какая-то группа меняет свой ритм на ритм соседей. Он становится более мощным, чем остальные, и постепенно все присутствующие вовлекаются в этот ритм, и он один начинает греметь и господствовать по всему залу.

Применение лазеров

Мощное монохроматическое излучение лазера открывает широчайшие перспективы для своего использования в науке, промышленности, бытовой технике, медицине и других сферах человеческой деятельности. С помощью лазерного луча можно, например, точно *измерить расстояние* между двумя объектами. Приборы для измерения таких расстояний называют лазерными дальномерами. Они посылают короткие лазерные импульсы в сторону интересующего нас объекта. Дойдя до него, излучение отражается и возвращается назад. Измеряя время, которое

затрачивает луч на путь до отражателя и обратно, и зная точное значение скорости света, можно рассчитать расстояние между лазером и отражающим объектом. Таким способом было определено точное расстояние от Земли до Луны. Во время полётов на Луну на её поверхности были установлены специальные отражатели. С Земли при помощи телескопа посылали сфокусированный лазерный луч и измеряли время, которое он затрачивает на путь до лунной поверхности и обратно. Благодаря такому исследованию параметры орбиты Луны стали известны с точностью до нескольких сантиметров.

С самого начала создания лазеров возникла мысль о возможности их применения *в военных целях*. Помимо собственно поражающего действия лазера, его можно использовать для точного наведения оружия на цель. Если маленький лазер прикрепить к стволу пистолета или винтовки, его луч высветит крохотное пятнышко на цели. Стрелок видит это пятнышко и понимает, куда именно направлен его ствол. Иногда лазерный луч используют для того, чтобы ввести противника в заблуждение. Луч, нацеленный на танк или самолёт, создаёт у противника впечатление, что на него направлено высокоточное оружие, и заставляет его отступить.

Широко распространено использование лазеров *в промышленности*, где их излучение используют для резки и закалки материалов, нанесения на них всякого рода покрытий и напылений, а также для разметки и гравировки.

Рис. 28. Лазеры в медицине

В медицине с помощью лазеров проводят сложные хирургические операции (рис. 28).

Например, тонкий луч аргонового лазера свободно проходит через прозрачное стекловидное тело глаза и оказывает воздействие непосредственно на его светочувствительную оболочку – сетчатку. Это позволяет проводить внутриглазные операции, требующие особой точности.

Самыми распространёнными устройствами, в которых используется лазерное излучение, являются *компакт-диски* для записи текстов, музыки и изображений (рис. 29).

Рис. 29. Компакт-диск

Первые диски появились в середине 80-х гг. прошлого века и получили название CD-ROM. Их информационная ёмкость по тем временам казалась огромной, но вскоре, когда возникла потребность в записи видеофильмов и больших игровых программ, они стали вытесняться дисками DVD, которые могут хранить значительно большее количество информации.

Принцип устройства лазерного диска можно в общих чертах описать так. На диске имеются дорожки, содержащие микроскопические выступы и углубления. Углубления называются питами (от англ. pit – ямка, впадина). Закодированная на диске информация определяется чередованием питов и промежутков между ними. Можно придать питу значение 0, а промежутку – значение 1 и получить информацию, закодированную в виде чисел двоичной системы. А мы знаем, что с помощью двоичного кода можно сохранить любое количество информации, не важно, будет она текстовой, звуковой или рисуночной. При считывании информации лазерный луч направляется на поверхность вращающегося компакт-диска, а отражённый свет попадает в принимающее устройство, где вызывает слабые электрические импульсы. Свет, идущий от углублений, оказывается более слабым, чем отражённый от плоских участков. Таким образом, двигаясь вдоль дорожки, система считывания «видит» последовательность тёмных и светлых участков.

Рис. 30. Лазерное шоу.

После фотоприёмника электрический сигнал проходит через усилитель и преобразуется в цифровую информацию, которая впоследствии перекодируется в звук или изображение. Для записи информации на диск используют обратный процесс. Более сильный лазерный луч, направленный на диск, «выжигает» на нём микроскопический участок поверхности. В дальнейшем при проигрывании «выжженные» и «невыжженные» участки будут по-разному отражать падающие на них лазерные лучи, и мы получим уже описанную картину. При стирании информации пробегающий лазерный луч уничтожает питы и выравнивает поверхность диска.

Разноцветные лучи лазера используют также *в оформлении праздников* и красочных представлений (рис. 30).

Проверьте свои знания

1. Объясните, почему движение электронов в лазере более упорядочено, чем в газоразрядной трубке.
2. Почему лазерное излучение обладает огромной энергией?
3. Что такое монохроматическое излучение? Почему излучение лазера является монохроматическим?
4. Приведите примеры использования лазера в практических целях.
5. Опишите принцип работы лазерных звуко– и светозаписывающих устройств.

Задания

Используя дополнительные источники информации, подготовьте сообщение или презентацию об использовании лазеров.

§ 15 Синергетика – наука о самоорганизации

…Мир вокруг нас изобилует всевозможными структурами, начиная с тех, которые мы встречаем в природе, и заканчивая теми, что присущи разумной жизни; мы настолько привыкли к структурам, что зачастую уже не осознаём, каким чудом является само их существование.

Герман Хакен

Возможно, вы уже обратили внимание на то, что, рассказывая о физико-химических ячейках Бенара и об устройстве лазеров, мы прибегали к аналогиям, касающимся поведения человеческих коллективов. Во второй половине XX в. среди некоторых исследователей, работавших в различных областях науки, стало складываться мнение, что самые разнообразные природные процессы – от физико-химических до астрономических и социальных – имеют сходные черты. В результате возникло новое научное направление, которое один из его основателей, немецкий физик-теоретик **Герман Хакен** (род. 1927), назвал *синергетикой,* что в переводе с греческого языка означает «совместное действие». Для появления этой новой науки существовали многочисленные предпосылки.

По мере развития науки углублённое исследование конкретных частных процессов привело к предположению, что в природе должны существовать какие-то общие закономерности, лежащие в основе самых разнообразных явлений. Впервые обоснования таких закономерностей появились в термодинамике неравновесных процессов, когда было показано, как из хаотического движения отдельных частиц могут спонтанно возникать организованные структуры. Книга И. Пригожина и И. Стенгерс, где изложены основные положения новой науки, носит именно такое название – «Порядок из хаоса». Новые научные данные, казалось бы, противоречили как классической механике, где поведение любой частицы предопределяется силами притяжения и отталкивания, так и классической термодинамике, согласно которой порядок в природе постоянно стремится превратиться в хаос, а обратный процесс невозможен, потому что

крайне маловероятен. Надо сразу оговориться, что это противоречие кажущееся. На самом деле самоорганизация существует только в открытых неравновесных системах, в то время как термодинамика имела дело с изолированными равновесными системами. Поэтому новые данные не противоречили классическим представлениям, но важно, что они из них и не вытекали.

В связи с этим Пригожин предложил обратить внимание на другой вопрос, долгое время не рассматривавшийся классической физикой: каким образом происходит образование и эволюция сложных структур? Физика всегда изучала уже существующие структуры и не уделяла должного внимания их возникновению. Напомним, что в классической механике время считалось абсолютно обратимым. Термодинамика ввела понятие «стрелы времени», но эта стрела была направлена только в одну сторону – в сторону увеличения энтропии и нарастания хаоса. Теперь выяснилось, что время может обладать не только разрушительными, но и конструктивными свойствами.

Собственно говоря, процесс эволюционного совершенствования был известен людям давно. Уже с XVIII в. широко обсуждались темы, связанные как с зарождением и развитием отдельных организмов, так и с глобальными эволюционными процессами в живой природе и в человеческом обществе. Но все эти процессы относились только к живым системам, которые хотя и не противоречили законам физики, но рассматривались как бы в стороне от них.

С идеей создания новой науки синергетики выступил в 70-х гг. прошлого века Г. Хакен. О том, каким образом у него возникла эта идея, он рассказывает так:

> *«…Я задал вопрос: «Имеет ли самоорганизация общие законы?» и предложил изучать этот вопрос внутри новой дисциплины, которую я назвал синергетикой. Слово «синергетика» пришло из греческого языка и означает науку о сотрудничестве, кооперации. Вопрос, существуют ли в ней общие законы или принципы, казался несколько удивительным и возможно даже шокирующим, потому что допускалось, что части системы могут быть совершенно различного характера, в диапазоне, скажем, от молекул в жидкости до человеческих индивидуумов в обществе. Мы рассматриваем системы, которые могут формировать пространственные, временные или функциональные структуры. Эти структуры формируются непосредственно самими системами без*

какого-либо вмешательства извне. Такие структуры конечно же формируются в процессе развития растений или животных, но их можно найти и в неодушевлённом мире физики и химии. Мы сфокусировали своё исследование систем на таких ситуациях, где качественные изменения системы происходят в макроскопических масштабах».

Согласно синергетике, развитие открытой неравновесной системы начинается с небольших случайных отклонений – флуктуаций. Если такие отклонения оказываются близки в пространстве и времени, они могут усиливать друг друга с помощью положительной обратной связи (§ 67). Может возникнуть структура, которая растёт и развивается за счёт положительных обратных связей между её элементами. Одновременно в результате других флуктуаций могут возникать и другие структуры, которые связаны с первой антагонистической связью и поэтому конкурируют с ней.

Параметр порядка

Одним из основных в синергетике является понятие ***параметра порядка.*** Параметр порядка, или управляющий параметр, – это фактор, который организует структуру и придаёт ей относительную устойчивость. Важно, что эта организация проявляется на уровне целой системы, в то время как каждый её элемент в принципе свободен в выборе своего поведения. Представим себе улицу, по которой в час пик движется множество людей. Если на этой улице находится станция метро или остановка автобуса, то основное движение будет направлено именно к ним. При этом каждый человек может идти как ему угодно: он может вспомнить, что забыл что-то купить, и повернуть назад к магазину, может встретить знакомого и остановиться поговорить с ним и т. д. Но в целом движение основной массы людей будет направлено к одной точке, которая и будет в данном случае служить параметром порядка (рис. 31).

Со временем и под влиянием различных причин параметры порядка могут меняться. Это изменение в значительной степени зависит от конкуренции различных параметров. Давайте представим себе такой опыт.

Рис. 31. Люди, собирающиеся вокруг сцены, являются примером самоорганизующейся системы

Возьмём стакан с плоским дном. Большая часть дна сделана из твёрдого материала, но в одном участке это дно будет изготовлено из мягкого пластика, способного деформироваться под действием силы. Насыпем в стакан достаточно тяжёлые шарики, например дробь, и будем его периодически встряхивать. Вначале дробь распределяется равномерно по всему дну стакана. Но постепенно мягкая часть будет продавливаться, и в неё будет скатываться больше дробин, чем их останется на плоской части. Под действием веса этих дробин лунка будет углубляться, и в неё будет попадать ещё больше дробин, пока, наконец, лунка не станет очень глубокой, и тогда в ней окажутся все дробины.

Рис. 32. Процесс образования продавливания в эластичном

дне сосуда

Теперь допустим, что на дне стакана имеется два таких растяжимых участка. В обоих будут продавливаться лунки. Но если после очередного встряхивания в правой лунке окажется чуть больше дробин, чем в левой, то правая лунка станет глубже, чем левая, и при следующем встряхивании в неё уже закономерно попадёт больше дробин, в результате чего она станет ещё глубже (рис. 32). В конце концов правая лунка станет настолько глубже левой, что все дробины, или по крайней мере подавляющее большинство окажутся в ней. Но мы знаем, что обе лунки ничем не различаются. От чего же зависит результат, который покажет, какая из них станет «победителем»? Очевидно, что этот результат определяется чистой случайностью, небольшой флуктуацией при одном из первых встряхиваний стакана, и именно эта флуктуация определяет, какой из двух параметров порядка окажется победителем, т. е. в каком из двух изначально одинаковых мягких участков дна стакана окажется подавляющее большинство дробин.

Проверьте свои знания

1. Что означает понятие «синергетика»?
2. Объясните, почему существование самоорганизации не противоречит второму началу термодинамики.
3. Что такое параметр порядка? Приведите примеры параметров порядка из собственной жизни.
4. Что синергетика считает начальной причиной возникновения самоорганизации?

Задания

1. Придумайте и предложите опыт, отличный от описанного в параграфе, демонстрирующий конкуренцию разных параметров порядка.
2. Приведите примеры конкуренции параметров порядка из реальной жизни. Обсудите их с одноклассниками.

§ 16 Области применения синергетики

В любой попытке сблизить области опыта, относящиеся к духовной и физической сторонам нашей натуры, время занимает ключевую позицию.

А. С. Эддингтон

Большой интерес к синергетике объясняется тем, что её принципы применимы для описания самых разнообразных систем и происходящих в них процессов – от относительно простых химических реакций до развития общества. Мы рассмотрим несколько примеров, взятых из различных областей человеческого знания.

Напомним, что впервые идеи синергетики появились на основе термодинамики неравновесных процессов, разработанной И. Р. Пригожиным.

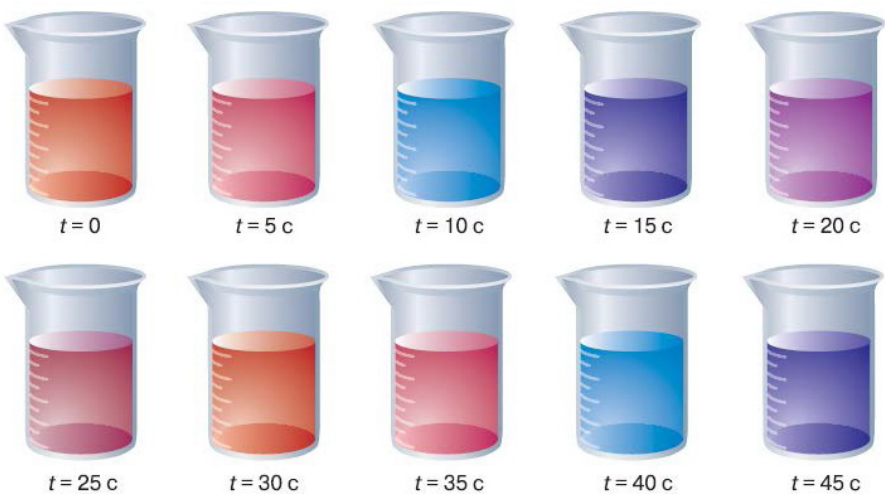


Рис. 33. Реакция Белоусова – Жаботинского

В частности, Пригожиным была создана химическая модель, в которой в результате происходящих в химической системе реакций концентрации составляющих её веществ изменяются согласно строгим колебательным закономерностям. Такой периодический химический процесс Пригожин назвал химическими часами, а сама модель получила название «брюсселятора», так как её автор жил и работал в Брюсселе.

Одной из самых известных химических реакций, где происходят строгие и хорошо наблюдаемые периодические процессы, является реакция Белоусова – Жаботинского (рис. 33). Раствор со строгой периодичностью меняет свой цвет, становясь попеременно то красным, то синим. Оказалось также, что при таких реакциях периодичность возникает не только во времени, но и в пространстве. Как говорил сам В. П. Белоусов, «колба становится похожей на зебру». Если же смесь реагирующих веществ налить тонким слоем в плоский сосуд, то в ней образуются причудливые фигуры – концентрические окружности, спирали и «вихри», распространяющиеся со скоростью около 1 мм/мин (рис. 34). Результаты этих исследований поначалу казались настолько неожиданными и несовместимыми с представлениями классической термодинамики, что научные журналы отказывались их печатать.

А теперь вспомним, что говорилось о закономерностях периодического колебания численности лис и зайцев. Тогда мы утверждали, что точно такие же закономерности можно наблюдать в некоторых химических процессах. Теперь вы в этом убедились.

Вернёмся ещё раз к проблеме, касающейся процессов, которые Пригожин называет возникновением порядка из флуктуаций.

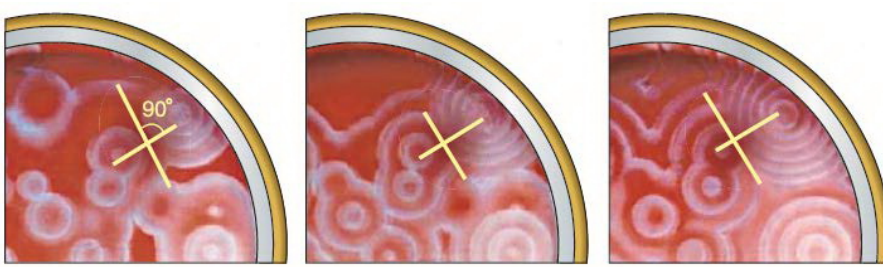


Рис. 34. Некоторые конфигурации, возникающие при реакции Белоусова – Жаботинского в тонком слое в чашке Петри

Мы уже отмечали сходство возникновения ячеек Бенара, движения пловцов в бассейне и продавливания дробинами углублений в дне стакана. Познакомимся ещё с одним примером, который приводит тот же Пригожин и который касается на этот раз поведения животных.

Термиты способны строить огромные и сложные земляные сооружения – термитники (рис. 35). В строительстве принимает участие огромное количество насекомых, и движения их кажутся такими слаженными, что некоторые учёные говорили о

существовании «коллективного разума» термитов. Однако при детальном исследовании было показано, что для проявления такого «коллективного разума» требуется очень мало информации. Вначале термиты совершенно беспорядочно разбрасывают комочки земли, но каждый комочек пропитан гормоном, привлекающим других термитов. Через некоторое время в результате случайной флуктуации в каком-то месте плотность комочков окажется большей, чем по соседству. Теперь к этому месту будет стремиться большее количество термитов, и флуктуация будет нарастать, так как концентрация гормона в этом месте будет продолжать увеличиваться. Так воздвигается одна из опор будущего термитника. Другие опоры возникнут в местах, определяемых радиусом распространения запаха гормона, т. е. примерно на одинаковых расстояниях друг от друга. Так происходит закладка основания термитника.

Организующую роль параметров порядка можно наблюдать и в человеческом обществе. В качестве таких параметров могут выступать язык, культура, законы, принятые нормы поведения и общественное мнение. Тут, как и в других случаях синергетики, выявляется интересная взаимная связь между управляющим параметром, который определяется целостностью системы и частями этой системы. По выражению Хакена,

> *«параметр порядка действует подобно кукольнику, который задаёт танец марионеток, но решающее различие между кукольником и параметром порядка заключается в том, что отдельные части, в свою очередь, сами генерируют параметр порядка своим коллективным поведением».*

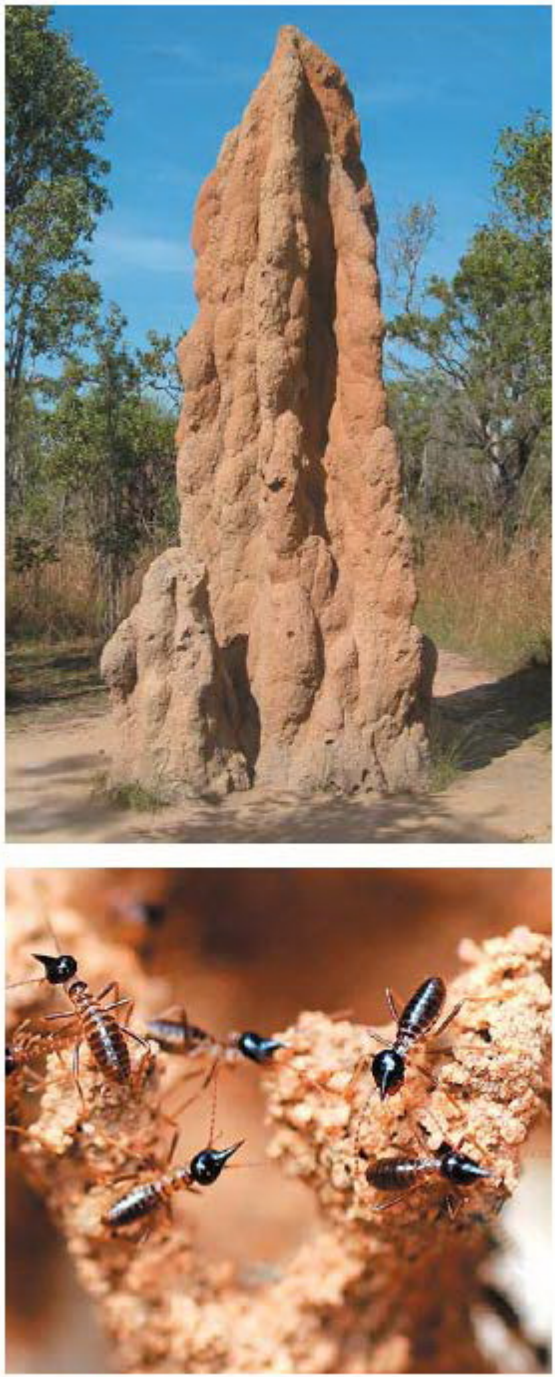


Рис. 35. Термитник

При изменении внешних условий, т. е. при каком-либо воздействии на систему, параметры порядка реагируют гораздо медленнее, чем части системы. Кроме того, часто, как, например,

в человеческом обществе, параметры порядка существуют гораздо дольше, чем отдельные элементы системы. Очевидно, что продолжительность жизни человека значительно меньше, чем время существования государства, языка или культуры.

Определённые установившиеся параметры порядка могут в течение некоторого времени способствовать сохранению устойчивости управляемой системы. Но постепенно в результате изменения либо внешних условий, либо состояния и структуры элементов системы и характера их взаимодействий регулирующая роль управляющего параметра ослабевает, и система переходит в неустойчивое состояние. В этом случае система может или разрушиться, или изменить управляющие параметры, возможно даже отвергнуть некоторые из них.

Как и прежде, мы обратим внимание на тот факт, что такие закономерности присущи уже химическим реакциям. Если в сосуд, где протекает реакция, постепенно добавлять какое-то вещество, то до определённого времени эта реакция протекает по закономерной устойчивой траектории, т. е. количество продуктов реакции в каждый момент её протекания вполне предсказуемо. Но когда концентрация этих продуктов достигает определённого уровня, состояние химической системы становится неустойчивым, и она должна резко измениться. Такое состояние в синергетике называется ***точкой бифуркации.*** В этой точке концентрация одного из входящих в смесь веществ должна либо резко возрасти, либо резко снизиться.

Рис. 36. Многообразие структур снежинок

Часто невозможно предугадать, какой именно из этих двух вариантов осуществится, потому что результат зависит от случайной флуктуации, которая произойдёт в момент «выбора».

В физике тоже можно найти состояния, которые можно определить как точки бифуркации. Одним из примеров такого состояния служит образование снежинок. При охлаждении водяного пара молекулы воды внезапно образуют кристаллические структуры. При этом все снежинки представляют собой шестигранники, но форма этих шестигранников может быть совершенно различной и зависит от случайных процессов, которые происходят в начале образования снежинки (рис. 36).

На этом мы пока закончим знакомство с основными

принципами синергетики, но поскольку эта наука оказывается применимой в самых различных областях человеческого знания, мы в дальнейшем ещё будем к ней обращаться при изучении биологических проблем.

Проверьте свои знания

1. Опишите процесс построения термитника.
2. Что можно считать параметрами порядка в человеческом обществе?
3. Что такое точка бифуркации? Какой фактор определяет, как пойдёт дальнейшее развитие системы после прохождения точки бифуркации?

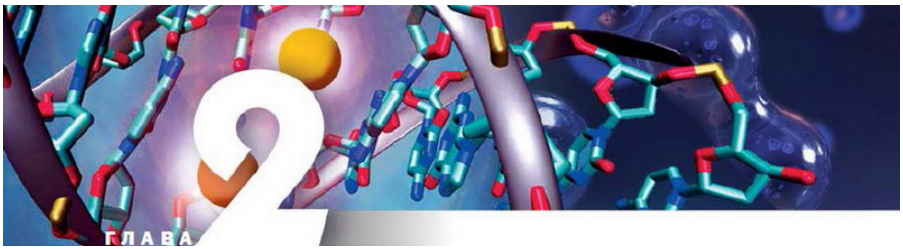
Задания

Придумайте самостоятельно пример самоорганизации и точки бифуркации в какой-либо физической, биологической или социальной системе. Обоснуйте свой выбор. Обсудите в классе этот и другие примеры, предложенные вашими одноклассниками.

Ваша будущая профессия

Попробуйте смоделировать ситуации, в которых возможно применение знаний, полученных при изучении этой главы.

Строение и деятельность живых систем. Молекулы и клетки



§ 17 Что такое жизнь?

Между живыми и косными естественными телами биосферы нет переходов – граница между ними на всём протяжении геологической истории резкая и ясная. Материально-энергетическое в своей геометрии, живое естественное тело, живой организм отличен от естественного тела косного. Вещество биосферы состоит из двух состояний, материально-энергетически различных, – живого и косного.

В. И. Вернадский

Если серьёзно задуматься над вопросом, сформулированным в названии параграфа, то окажется, что ответить на него весьма непросто. В практической жизни мы легко отличаем живое от неживого. При этом мы часто, даже если это и неоправданно, склонны приписывать живым организмам качества, свойственные человеку. Например, известно такое выражение: «Он такой добрый человек, что даже мухи не обидит». То есть предполагается, что муху можно обидеть! Вы когда– нибудь видели обиженную муху? Думаю, что нет. Тем не менее мы знаем, что муха живая, а следовательно, ей может быть присуще такое человеческое чувство, как обида. В то же время никто не скажет «он компьютер не обидит», хотя по своим внешним, «интеллектуальным» проявлениям компьютер гораздо сложнее мухи. Но он неживой, а следовательно, по нашему мнению, не может ничего чувствовать. Человеку, портящему компьютер, могут быть предъявлены только материальные претензии, в то время как тот, кто мучает собаку, крысу и даже лягушку или рыбу, может заслужить моральное осуждение.

Но всё это – рассуждения на бытовом уровне. А как обстоит дело с научной точкой зрения по этому вопросу? Дать однозначное определение понятия «жизнь» практически невозможно. Поэтому мы просто перечислим основные свойства, присущие живым организмам.

Прежде всего, напомним, что все живые системы являются открытыми, т. е. они обмениваются с внешней средой веществом и энергией. Из этого и вытекают некоторые их свойства.

Питание

Все живые организмы, будучи открытыми системами, должны поглощать из окружающей среды вещество, т. е. питаться. По типу питания организмы делятся на гетеротрофные, которым для питания требуются органические вещества, и автотрофные, которые питаются веществами неорганическими. ***Гетеротрофные*** организмы – это все животные, грибы и большинство бактерий. Они могут быть хищниками, убивающими и поедающими своих жертв[7]; паразитами, живущими за счёт других организмов, но не убивающими их; сапрофитами или сапрофагами (к ним, например, относят бактерии гниения), питающимися веществами уже умерших организмов.

Автотрофными организмами являются растения и некоторые виды бактерий. Они поглощают из окружающей среды неорганические вещества, такие как вода, углекислый газ и минеральные соли, и производят из них органические соединения, используя для этого энергию света (фотосинтетики) или энергию окислительно-восстановительных химических реакций (хемосинтетики). Иногда, хотя и очень редко, встречаются миксотрофные организмы, способные к обоим типам питания.

Дыхание

Поскольку живые организмы представляют собой открытые системы, они также должны обмениваться с окружающей средой энергией. Как нам известно, получение энергии в виде тепла является малоэффективным, так как большая часть такой энергии представляет собой связанную энергию. Поэтому основную часть необходимой для их жизнедеятельности энергии живые организмы получают, разлагая сложные органические соединения до более простых, в конечном счёте – до воды и углекислого газа. Этот процесс называют дыханием. Он свойственен как гетеротрофным, так и автотрофным организмам. Различие между ними состоит только в том, что гетеротрофные организмы получают органические вещества в готовом виде, а автотрофные сначала синтезируют органические вещества, а уж затем расщепляют их с выделением энергии.

Большинству организмов для полноценного дыхания необходим кислород, который они получают из атмосферы. Такие организмы называются аэробными (от греч. «аэр» – воздух). Поэтому часто мы используем слово «дыхание» для обозначения газообмена между организмом и внешней средой. С научной точки зрения этот этап называют *внешним дыханием,* в отличие от *клеточного* дыхания, которое описывает процесс разложения органических веществ с выделением энергии. Существует ещё и анаэробное дыхание, не требующее кислорода. Им обладают некоторые бактерии и паразитирующие черви. Анаэробное дыхание является менее эффективным, чем аэробное. Оно часто протекает по типу брожения, в результате которого образуются не вода и углекислый газ, а некоторые органические соединения. Примером может служить молочнокислое или спиртовое брожение.

Выделение

В процессе дыхания многие органические соединения, а также соли различных металлов становятся бесполезными и даже вредными для организма и поэтому организм должен от них постоянно избавляться. Процесс выведения уже использованных и более ненужных организму веществ называют выделением. У всех животных существуют специальные выделительные системы, которые имеют различное строение – от выделительных вакуолей (у амёбы) до почек (у позвоночных). Через эту систему отработанные и вредные вещества выводятся обычно в виде водных растворов. У растений специальной выделительной системы нет, поэтому они избавляются от накопившихся вредных

соединений различными способами, например сбрасывают листья. У некоторых животных с небольшой продолжительностью жизни существуют так называемые «почки накопления», где вредные вещества откладываются и изолируются от остального организма на весь короткий срок жизни животного.

Размножение

Размножение – это одно из самых загадочных природных явлений, присущее всем живым организмам. Суть его заключается не только в создании новых организмов, похожих на родительские, но и в том, что эти организмы каждый раз начинают свою жизнь сначала. Всем известно, что каждый отдельный организм со временем стареет и в конце концов умирает, однако жизнь в целом не только бессмертна, но и способна к прогрессивному эволюционному усложнению. Способность передавать в процессе размножения свои признаки потомству называют *наследственностью. Изменчивость* – свойство, противоположное наследственности; способность живых организмов существовать в различных формах, т. е. приобретать новые признаки, отличные от качеств других особей того же вида.

Рост и развитие

Непосредственным следствием размножения является способность живых организмов к росту. Некоторые виды животных и растений растут в течение всей своей жизни, другие прекращают рост при достижении определённого возраста. Основой роста служит деление составляющих организм клеток. Рост организма неизбежно сопровождается его развитием: организм приспосабливается к условиям окружающей среды, изменяются соотношение размеров различных органов и прочие признаки. В процессе развития возникает дифференцировка клеток: некоторые клетки перестают делиться и начинают выполнять узкие, специфические только для них функции, например нервные, мышечные и другие виды клеток.

Подвижность

Все живые организмы способны в той или иной степени изменять своё положение в пространстве, т. е. обладают

подвижностью. Подвижность свойственна не только высшим животным, где она очевидна, но и многим простейшим, имеющим для этой цели реснички и жгутики, а также растениям, у которых она проявляется в виде *тропизмов* – движений относительно источника света, земного притяжения и других факторов (рис. 37, 38).

Раздражимость

Это явление можно считать самым фундаментальным отличием живого от неживого. Раздражимость – это способность реагировать на внешние воздействия в соответствии не столько с физической природой этих воздействий (раздражителей), сколько со своей организацией и внутренними особенностями.

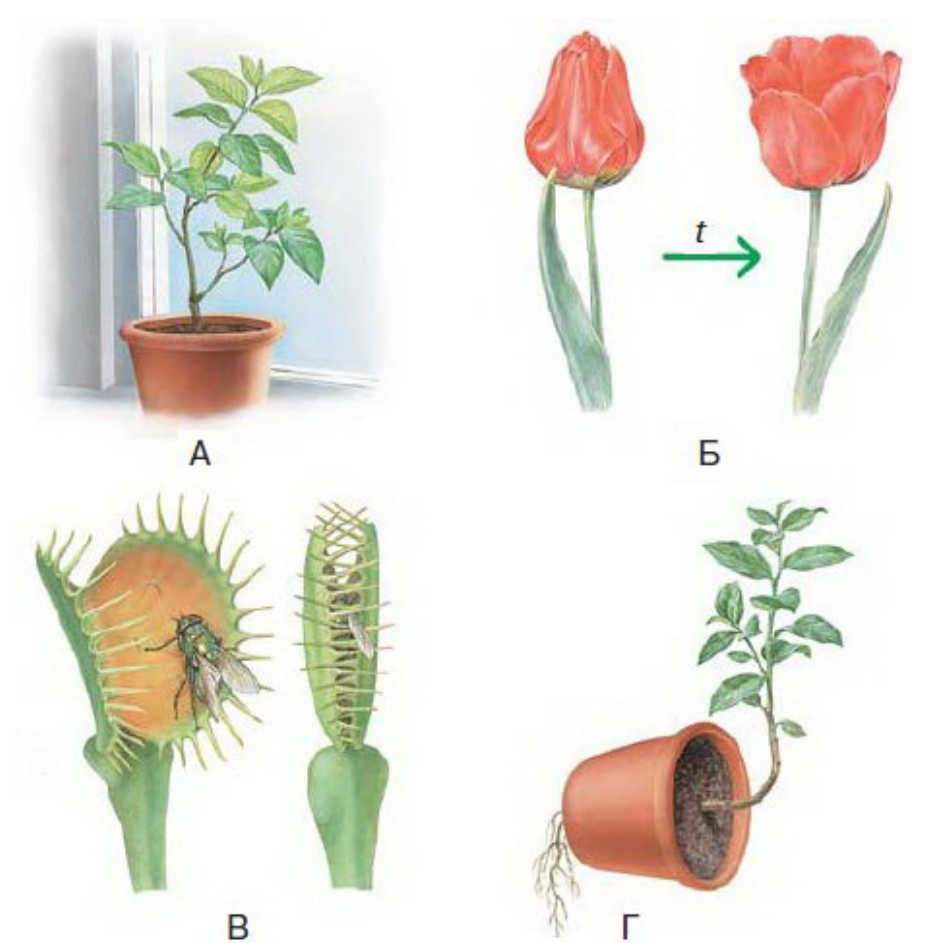


Рис. 37. Движение растений (тропизмы): А – свет; Б – температура; В – прикосновение; Г – сила гравитации

Рис. 38. Движение животных

Если реакция неживых предметов на внешние воздействия определяется законами физики, то реакция живых организмов будет осуществляться в соответствии с потребностями этих организмов. Если, например, мы возьмём две капли воды, соединённые узким перешейком, добавим в одну из капель немного соли и поместим туда пресноводную инфузорию, то она будет двигаться по перешейку в сторону капли с пресной водой. Если же мы проделаем этот опыт с морской инфузорией, то увидим, что она будет совершать перемещение в обратном направлении, предпочитая солёную воду. Это означает, что одно и то же физическое воздействие может противоположно воздействовать на организмы с различными биологическими потребностями.

Проверьте свои знания

1. Что такое питание? Какие типы питания живых организмов вы знаете?
2. Сравните аэробное и анаэробное дыхание. В чём их сходство и различия? Почему они получили такие названия?
3. Чем развитие организма отличается от его роста?
4. Дайте определение понятия «тропизмы». Рассмотрите рисунок 37. Используя знания, полученные на уроках биологии,

объясните, что является причиной тропизмов, изображённых на рисунке.

5. Используя рисунок 38, проанализируйте особенности движения позвоночных животных.

6. Что такое раздражимость?

7. Опираясь на знания, полученные на уроках биологии, приведите примеры миксотрофных организмов.

Задания

1. Исследуйте процесс сапрофитного питания. Для этого положите в стеклянный сосуд кусочек мяса, рыбы или какого-нибудь фрукта. Ежедневно наблюдайте происходящие изменения. Объясните полученные результаты.

2. Проведите исследование подвижности у растений. Сфотографируйте стоящий на подоконнике цветок. Переверните его на 180° и через несколько дней сфотографируйте снова. Сравните обе фотографии и отметьте различия.

§ 18 Клетка – элементарная единица жизни

Omnis cellula ex cellula.
(Каждая клетка из клетки.)

Рудольф Вирхов

Открытие и изучение клеток

В настоящее время известно, что все живые организмы (кроме вирусов, о которых будет сказано позже) состоят из клеток. Впервые клетки обнаружил в 1665 г. английский учёный **Роберт Гук** (1635–1703). Рассматривая в микроскоп тонкие срезы пробки, он обнаружил, что она состоит из мелких изолированных фрагментов, которые он назвал «cell», что по-английски означает «ячейка», но также и «тюремная камера», «монастырская келья» и «клетка для содержания зверей» (рис. 39). Гук использовал это слово в первом значении, но переводчик понял его по-своему, и в русский язык структурная единица живого организма вошла под широко известным и употребляемым названием «клетка». По-гречески клетка называется «цитос», поэтому наука, занимающаяся изучением строения и жизнедеятельности клеток, называется *цитологией.*

Открытие Гука в течение долгого времени не получало широкой популярности, потому что существующие в то время несовершенные микроскопы не позволяли оценить всей сложности строения живой клетки. Микроскоп, использованный Гуком, позволял увидеть только толстые клеточные стенки пробки. В дальнейшем были обнаружены клетки с более тонкими оболочками, в частности открытые Левенгуком клетки простейших одноклеточных животных. Постепенно сложилось представление о том, что живые организмы имеют ячеистое строение и состоят как бы из отдельных «капель», которые считали «пузырьками, наполненными питательным соком», однако получить достаточное представление об особенностях их внутреннего устройства не представлялось возможным.

Рис. 39. Микроскоп Роберта Гука и сделанный им рисунок микроскопической структуры тонкого среза пробки

По-настоящему исследование биологической клетки началось только в XIX в. с развитием микроскопической техники. В начале этого века французский исследователь Мирбель установил, что все растения состоят из тканей, образованных клетками, а в 1809 г. Ламарк распространил это положение и на животных. В 1825 г. чешский учёный Я. Пуркине открыл ядро яйцеклетки птиц, а в 1833 г. английский ботаник Р. Броун обнаружил в

растительных клетках плотное образование, за которым закрепилось название *ядро* (по лат. – «нуклеус», по греч. – «карион»). Начиная с этого времени внимание исследователей было обращено на изучение внутреннего содержимого клеток.

Клеточная теория

В конце 30-х гг. XIX в. немецкие исследователи – ботаник Матиас Шлейден и зоолог Теодор Шванн сформулировали клеточную теорию, суть которой заключалась в том, что все растения и животные состоят из сходных по строению клеток. В 1858 г. немецкий биолог Рудольф Вирхов дополнил эту теорию ещё одним положением, доказав, что все клетки организма образуются только в результате деления исходных материнских клеток.

Перечислим основные положения современной клеточной теории.

1. Клетка – основная, обязательная и наименьшая единица всех живых организмов. Все живые организмы состоят из клеток.

2. Клетки всех организмов сходны по своему химическому составу и общему плану строения.

3. Увеличение числа клеток происходит только путём деления исходных (материнских) клеток.

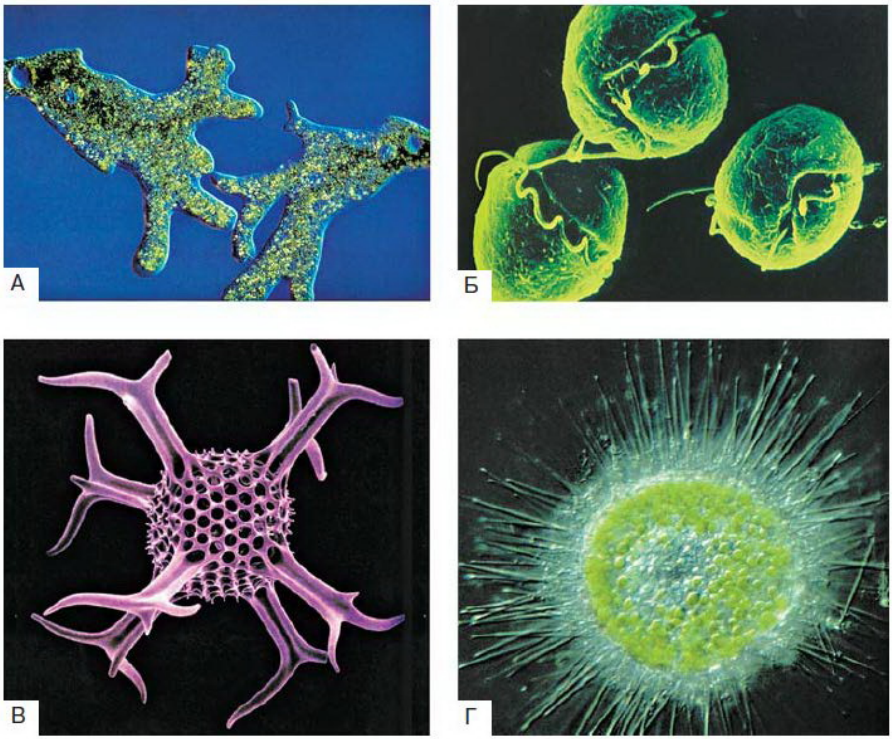


Рис. 40. Многообразие одноклеточных организмов: А – амёба обыкновенная; Б – зелёные водоросли; В – радиолярия; Г – солнечник

4. Универсальное клеточное строение живых организмов свидетельствует о том, что все они имеют единое происхождение.

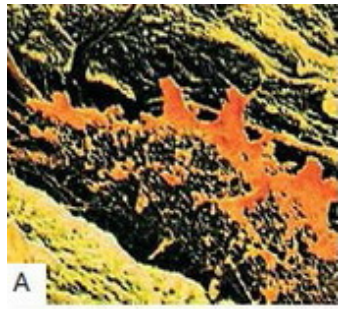
Развитие цитологии позволило в очень скором времени установить, что как животные, так и растительные клетки содержат в себе, помимо ядра и окружающей его полужидкой среды, многочисленные структурно-функциональные образования – *органоиды.*

Многообразие клеток

Каждая отдельная клетка может обладать всеми функциями живого, т. е. представлять собой самостоятельную живую систему. Клетка может быть самостоятельным организмом, полностью обеспечивающим все необходимые для её жизни потребности. Такие организмы называют *одноклеточными* (рис. 40). К ним относятся все бактерии, а также многие растения, грибы и животные.

В *многоклеточных* организмах клетки объединяются в

целостную систему. В этом случае между отдельными клетками существует «разделение труда», а для поддержания жизнедеятельности целого организма они объединяются в ткани, органы и системы органов, выполняющие специфические для них функции (рис. 41). Например, в организмах содержатся половые клетки – гаметы, специфической функцией которых является размножение. Другие клетки, называемые соматическими, выполняют разные функции: они переносят кислород (эритроциты), осуществляют движения (мышечные клетки), передают сигналы (нервные клетки) и т. д.


А

Б

В

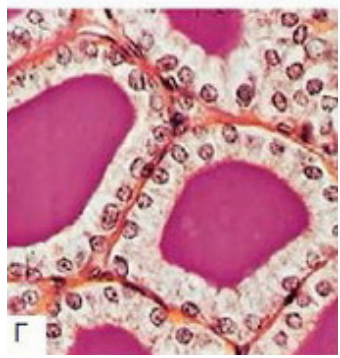

Г

Рис. 41. Многообразие клеток человека: А – клетка костной ткани; Б – клетка жировой ткани; В – эпителиальные клетки щеки; Г – клетки щитовидной железы

Размеры клеток варьируют от одного микрометра до нескольких сантиметров. Форма клеток тоже может быть очень разнообразной: они могут иметь форму шара или диска, представлять сложные разветвлённые образования, быть кубическими, веретеновидными и пр. Несмотря на то что основные химические соединения, содержащиеся во всех клетках, одинаковы, некоторые клетки могут вырабатывать вещества, характерные только для них. Так, клетки растений, способные к фотосинтезу, образуют хлорофилл, некоторые клетки растений и животных производят токсины – яды, опасные для других растений, животных, а иногда и для человека.

Проверьте свои знания

1. Кто и когда впервые обнаружил существование растительной клетки?
2. Сформулируйте основные положения современной клеточной теории.
3. Приведите примеры одноклеточных и многоклеточных организмов.
4. Как вы считаете, чьё строение будет более сложным – клетки одноклеточного организма или специализированной клетки многоклеточного организма? Докажите свою точку зрения.

Задания

Из курса «Человек и его здоровье» вспомните, какие типы клеток, входящих в состав различных органов, вам известны. Опишите особенности их строения и назовите функции, которые они выполняют в организме.

§ 19 Химический состав клетки

Вопрос в билете на экзамене. Какие функции выполняют белки в клетке?

Ответ абитуриента. Лазают по сетке, крутят колесо, чистят шерсть, едят и спят.

Неорганические вещества

Основным химическим веществом, содержащимся в живой клетке, является вода. Взрослый человек более чем на 60 % состоит из воды. У эмбрионов и детей эта доля ещё больше. Вода является необходимым веществом для любых форм жизнедеятельности. Главная её особенность – способность хорошо растворять в себе многие вещества, в том числе сахара, спирты, аминокислоты и соли, которые при этом распадаются на ионы. Вещества, хорошо растворимые в воде, называют *гидрофильными* (от греч. «гидро» – вода и «филео» – любовь). Практически все химические реакции в клетке протекают в водных растворах. Однако в воде растворяются не все вещества. Например, жиры, некоторые белки и нуклеиновые кислоты в воде нерастворимы. Такие вещества называют *гидрофобными* (от греч. «гидро» – вода и «фобос» – боязнь). В водной среде организма присутствуют в виде ионов многие неорганические соли. Основными катионами (положительно заряженными ионами) являются ионы калия, натрия, кальция и магния, а среди анионов преобладают ионы соляной, угольной, фосфорной и азотной кислот.

Органические вещества

Главными органическими соединениями, играющими ключевую роль в живой клетке, являются нуклеиновые кислоты, белки, углеводы и жиры. Их строение вам уже известно. Давайте теперь поговорим о функциях, которые они выполняют в организме.

ДНК служит хранилищем наследственной информации (рис. 42). В ней записана инструкция о построении будущего организма. В этой инструкции сказано, к какому виду принадлежит данный организм, где будут расположены все его

органы и как они будут работать.

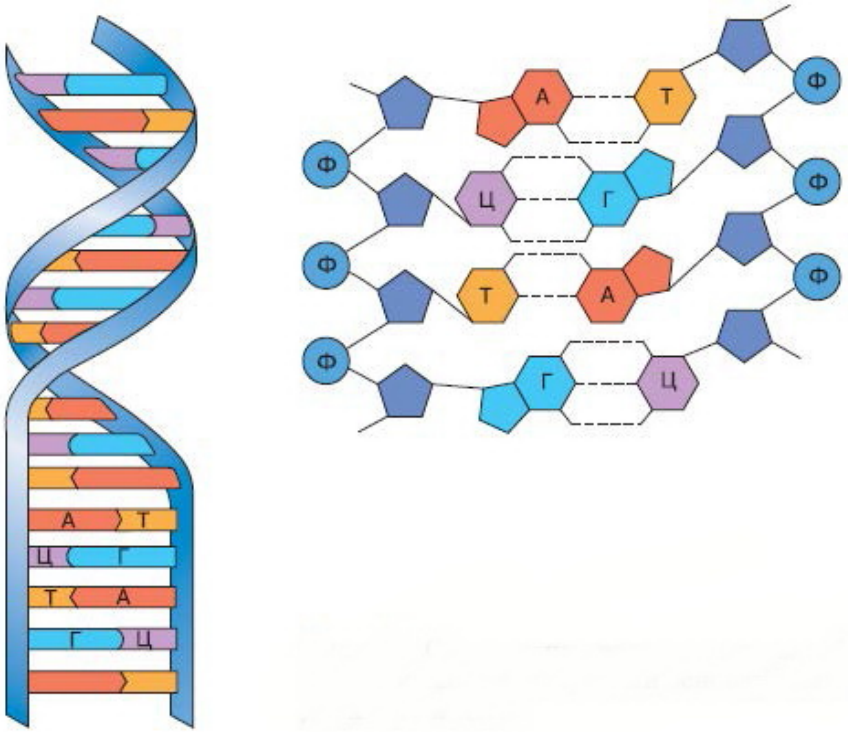


Рис. 42. Образование водородных связей между комплементарными основаниями двух цепей ДНК

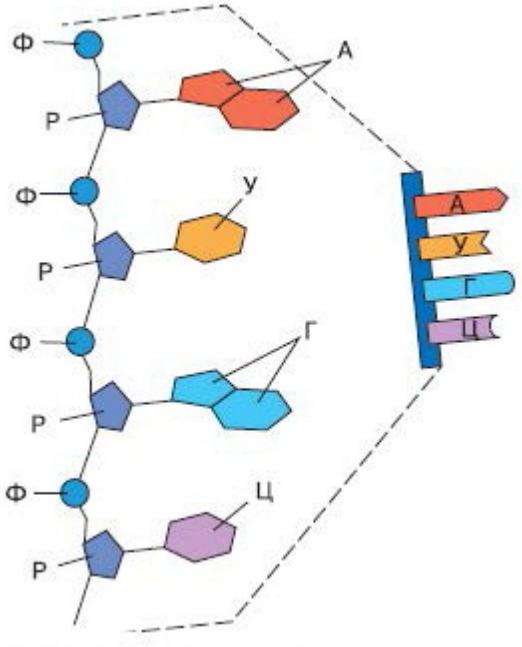


Рис. 43. Строение молекулы РНК

Во взрослом организме ДНК также продолжает контролировать всю деятельность его клеток, определяя, какие именно белки и в каком количестве требуются в данный момент. Для этого на ДНК синтезируется информационная РНК (иРНК). Строится она по тому же принципу, по которому происходит самоудвоение ДНК, с той только разницей, что против аденина становится не тимин, а урацил (рис. 43). Кроме того, в отличие от ДНК, РНК является одноцепочечной молекулой. Последовательность нуклеотидов в молекуле РНК определяет последовательность аминокислот в будущем белке. Такой синтез называют матричным (РНК строится на матрице ДНК). Подробнее о процессе синтеза белка будет рассказано в одном из следующих параграфов.

Функции белков в клетке чрезвычайно разнообразны. Многие из них являются ***ферментами,*** т. е. катализаторами биологических реакций. Мы уже знаем, что химические катализаторы способны во много раз увеличивать скорость химических реакций. Эффективность ферментов в этом отношении является рекордной: если небелковые катализаторы способны ускорять реакции самое большее в несколько тысяч раз, то под влиянием ферментов скорость реакций возрастает в миллиарды раз. Вещества, на которые действуют ферменты, называют субстратами (рис. 44). При этом некоторые ферменты

(их называют протеолитическими) расщепляют субстрат, «разрывая» его на две или более частей (так, например, действуют пищеварительные ферменты), а другие, наоборот, соединяют различные вещества, образуя из них более сложное соединение.

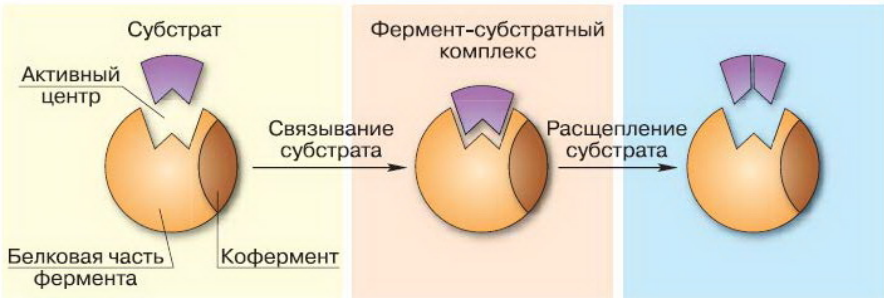
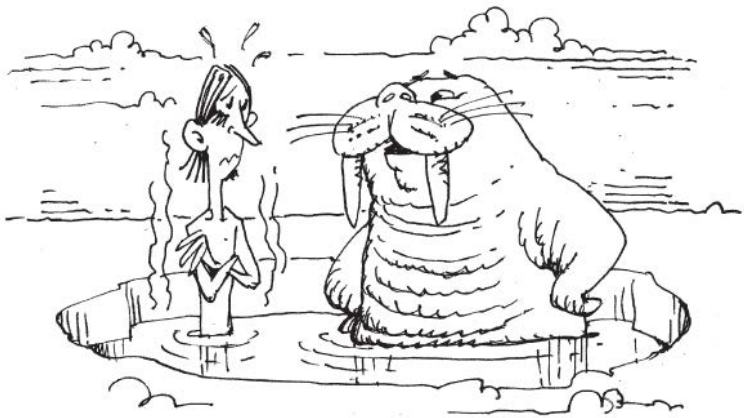


Рис. 44. Схема образования комплекса «фермент – субстрат»

Белки в организме выполняют также много других жизненно необходимых функций. Одной из этих функций является защитная. Она заключается в том, что при попадании в организм возбудителя какой– либо болезни или вредного вещества организм начинает вырабатывать специфические белки – *антитела,* которые способны связывать и уничтожать вредное чужеродное вещество. Кроме того, защитная функция белков проявляется также в их участии в свёртывании крови, благодаря чему происходит остановка кровотечения при травмах. Белки выполняют транспортную функцию, например гемоглобин транспортирует кислород, а белки, встроенные в клеточную мембрану, переносят различные соединения в клетку или из неё (рис. 45).

Рис. 45. Строение молекулы гемоглобина

Специальные сократительные белки находятся в мышцах, именно при их непосредственном участии осуществляются все произвольные и непроизвольные движения. Многие белки и небольшие цепочки аминокислот (пептиды) могут выполнять регуляторные функции в организме, например белком является гормон роста.



При необходимости белки могут быть использованы и в качестве источника энергии, хотя это происходит только в крайних случаях при нехватке других веществ. Из-за того, что белки выполняют в организме множество жизненно важных функций, тратить их на производство энергии представляется расточительной роскошью – это всё равно, что топить печь мебелью.

Главные источники энергии в организме – это углеводы и жиры. Углеводы, в основном глюкоза, обеспечивают основную потребность в энергии. Кроме того, велика роль углеводов в построении различных структур организма. Так, из клетчатки (целлюлозы) состоят клеточные стенки растительных клеток. Хитин входит в состав клеточных стенок грибов и внешних покровов членистоногих животных.

Нейтральные жиры, помимо непосредственной энергетической функции, играют также запасающую роль в организме. Именно они откладываются под кожей и на внутренних органах при избыточном питании, когда потребление питательных веществ превышает их расход. Кроме того, жиры способствуют защите животных от переохлаждения (вспомним толстый подкожный жировой слой у китов и тюленей, позволяющий им обитать в ледяной морской воде) и от механических повреждений. Некоторые жироподобные вещества

выполняют в организме функции гормонов. Фосфолипиды входят в состав всех клеточных мембран, регулируя их проницаемость.

Проверьте свои знания

1. Что такое гидрофильные и гидрофобные вещества?
2. Используя дополнительные источники информации, составьте и заполните таблицу «Ионы и их значение в живом организме».
3. Перечислите функции белков в организме.
4. Какие структуры в растительном и животном организмах образованы углеводами?

Задания

1. Фрагмент РНК имеет строение: АУУЦГАЦЦУГ. Какова последовательность нуклеотидов на отрезке матрицы ДНК, где он был построен?
2. Вспомните из курса «Человек и его здоровье», какие белки участвуют в свёртывании крови.

§ 20 Эукариотические клетки

Какие чувства открылись бы человеку, будь его глаза способны разглядеть очертания и движения мельчайших частиц в крови и других жидкостях человеческого организма столь же отчётливо, как очертания и движения самих живых существ.

Джон Локк. Опыт о человеческом разуме

Несмотря на то что все организмы состоят из клеток и все клетки сходны по своему химическому составу, среди них можно выделить две довольно чётко различающиеся группы: эукариотические и прокариотические клетки. Все животные, растения и грибы состоят из эукариотических клеток (от греч. «эу» – настоящий, правильный и «карион» – ядро) (рис. 46). Главным отличием такой клетки от прокариотической является наличие клеточного ядра.

Мембрана

Каждая клетка окружена ***плазматической мембраной*** (рис. 47). Основу мембраны составляет двойной слой молекул жироподобных веществ – фосфолипидов. Как известно, жиры – гидрофобные соединения, поэтому такая мембрана затрудняет прохождение в клетку хорошо растворимых в воде веществ, в том числе некоторых солей. Кроме того, в состав плазматической мембраны обязательно входят белки, одни из которых находятся на её внешней стороне, другие – на внутренней, а третьи пронизывают мембрану насквозь. Мембранные белки играют очень важную роль в деятельности клетки. Некоторые из них являются рецепторами, с помощью которых клетка реагирует на различные воздействия. Белки, пронизывающие мембрану, часто образуют каналы, через которые проходят различные ионы и другие вещества, в том числе и хорошо растворимые в воде.

В некоторых клетках мембрана способна впячиваться, затягивая в клетку питательные вещества. Так, например, питаются амёбы, лейкоциты поглощают бактерии. Это явление называют *эндоцитозом.* Обратный процесс, при котором вещества

через мембрану выводятся из клетки, называют *экзоцитозом.*

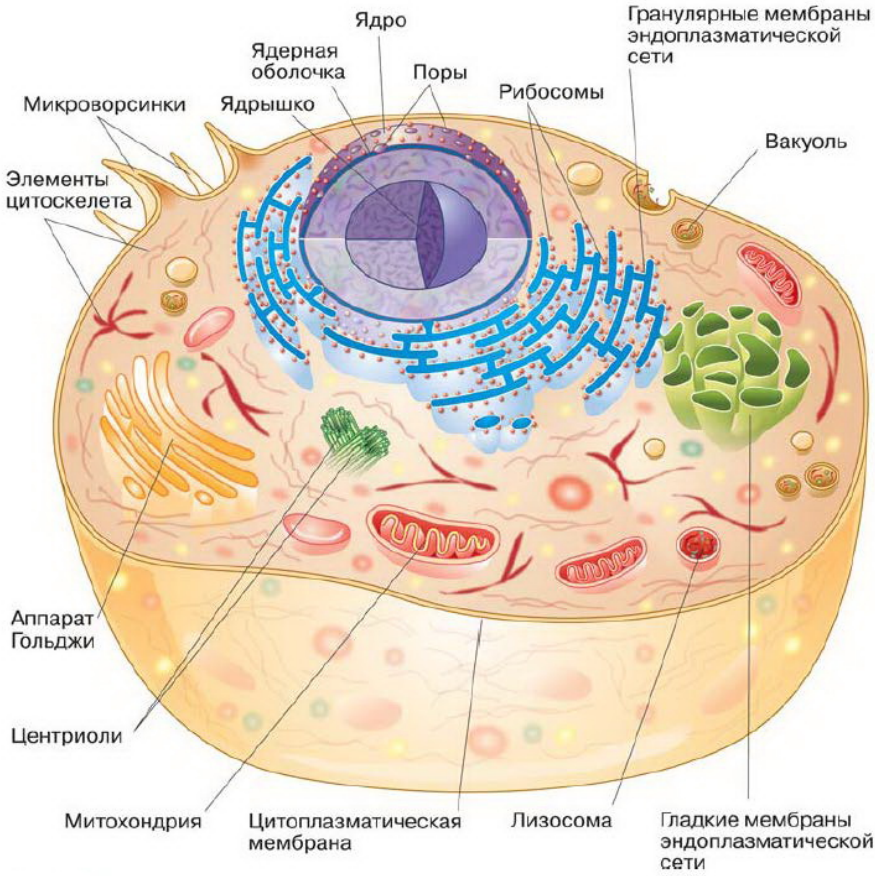


Рис. 46. Строение эукариотической клетки

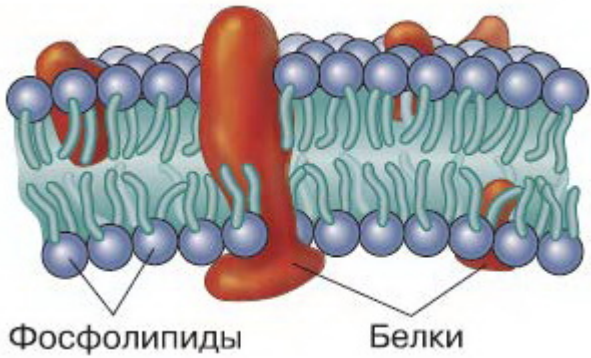


Рис. 47. Строение мембраны

Ядро

Ядро служит хранилищем наследственной информации и регулирует основные процессы, протекающие в клетке. Чаще всего клетка содержит только одно ядро, однако в некоторых случаях их может быть два, а иногда и гораздо больше. По форме ядро обычно является шаровидным, хотя встречаются ядра и более сложной формы. Ядро окружено оболочкой, состоящей из двух мембран и имеющей крупные поры. Через поры проходят большие молекулы РНК и белков.

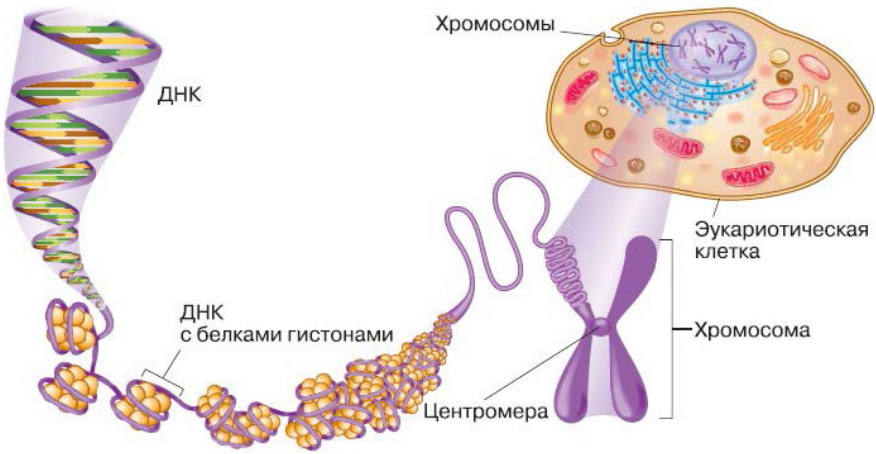
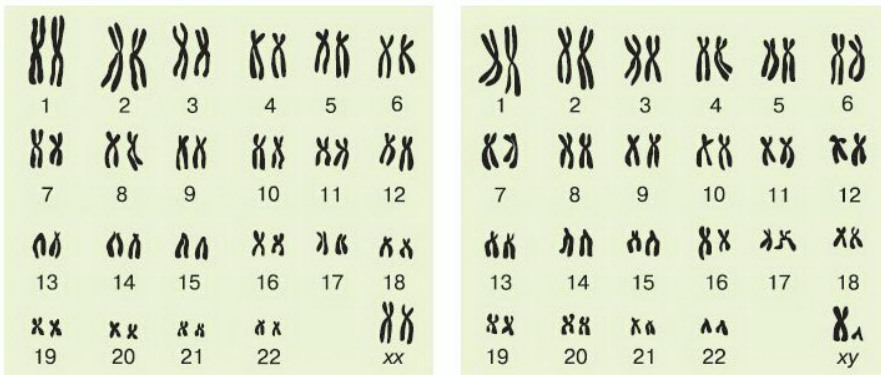


Рис. 48. Организация генетического материала в клетке

Жидкое содержимое ядра называют кариоплазмой. В кариоплазме находится одна или несколько мелких уплотнённых структур – ***ядрышек*** – и ***хроматин***. Хроматин – это соединение ДНК со специальными белками (рис. 48). Белки, во-первых, выполняют функции ферментов, а во-вторых, «упаковывают» ДНК, переводя её в скрученное состояние. Дело в том, что если молекулу ДНК растянуть, она окажется огромной по сравнению с размерами ядра клетки. Суммарная длина всех молекул ДНК в ядре соматической клетки превышает 1 м, в то время как размер ядра не больше нескольких микрометров. Поэтому, для того чтобы разместиться внутри ядра и не запутаться, каждая молекула ДНК поддерживается специальными белками (гистонами), которые служат её «крепёжным материалом».

Молекулы ДНК в скрученном состоянии называют ***хромосомами.*** Число молекул ДНК во всех клетках определённого вида живых организмов всегда строго одинаково. В соматических клетках каждая хромосома имеет свою пару, т. е. такая клетка содержит двойной набор одинаковых хромосом.

Такой набор называют ***диплоидным,*** а хромосомы, имеющие одинаковые размеры и форму, называют *гомологичными* (рис. 49). В соматических клетках человека содержится 46 хромосом, т. е. 23 пары. В половых клетках (гаметах) число хромосом вдвое меньше, чем в соматических. Такой «половинный» набор называют ***гаплоидным.*** Во время оплодотворения отцовская и материнская гаплоидные гаметы сливаются, их хромосомные наборы объединяются и образуется клетка с диплоидным набором (зигота). Из этой клетки путём деления образуются все клетки нового развивающегося организма.



А Б

Рис. 49. Диплоидный набор хромосом человека: А – женщины, Б – мужчины

У мужчин и женщин 22 пары хромосом одинаковы. Такие хромосомы называют аутосомами. 23-я пара – это половые хромосомы, они могут быть двух видов, называемых X и Y. Все яйцеклетки женщины содержат X-хромосому, а в сперматозоидах может находиться либо X-, либо Y-хромосома. Пол будущего ребёнка зависит от того, какой сперматозоид оплодотворит яйцеклетку: если несущий Y-хромосому – будет мальчик с набором половых хромосом XY, а если с X-хромосомой – девочка с набором XX.

Цитоплазма. Органоиды

Между ядром и наружной мембраной находится ***цитоплазма.*** В её студенистой среде расположены ***органоиды*** – структуры, выполняющие в клетке различные функции. Существуют одномембранные, двухмембранные и немембранные органоиды. Рассмотрим сначала строение одномембранных

органоидов.

Вся цитоплазма пронизана сложной сетью микроскопических трубочек и полостей – ***эндоплазматической сетью*** (ЭПС). ЭПС связана и с наружной плазматической мембраной, и с внешней мембраной ядерной оболочки. На поверхности ЭПС происходит синтез многочисленных биологически активных веществ. Существуют участки ЭПС, на каналах которой расположены ***рибосомы*** – немембранные органоиды, синтезирующие белок. Такие участки называют шероховатой ЭПС. В гладкой ЭПС, где нет рибосом, синтезируются многие углеводы и липиды. Продвигаясь по каналам, вещества могут менять свою структуру, объединяться в комплексы и приобретать биологическую активность. В конце концов готовые вещества поступают в систему внутриклеточных полостей и цистерн, которую называют ***комплексом*** или ***аппаратом Гольджи.*** Это своеобразный сортировочный и упаковочный цех, где вещества упаковываются в мембранные пузырьки и либо перемещаются в ту часть клетки, где они необходимы, либо выводятся за пределы клетки (рис. 50).

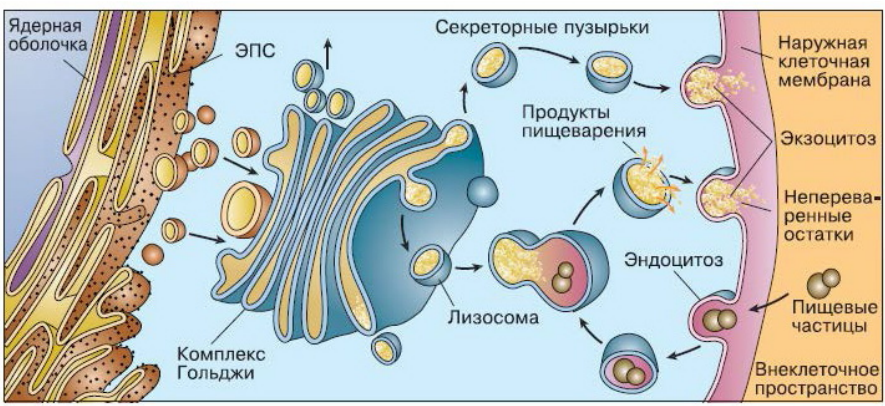


Рис. 50. Строение и функционирование аппарата Гольджи и принцип работы лизосомы

Важной функцией комплекса Гольджи служит образование ***лизосом*** – органоидов, служащих для переваривания попавших в клетку питательных веществ. Лизосома – это одномембранный пузырёк с ферментами. Когда клетка захватывает питательные вещества, то пищеварительная вакуоль сливается с лизосомой и происходит переваривание. В некоторых случаях лизосомы активизируются, выделяют своё содержимое в цитоплазму и переваривают саму клетку. Так, например, происходит во время превращения головастика во взрослую лягушку. Хвост головастика при этом не отваливается, а переваривается лизосомами. Образующиеся при этом питательные вещества

усваиваются другими клетками.

ЭПС, комплекс Гольджи и лизосомы – это одномембранные органоиды. Двухмембранными органоидами являются митохондрии и пластиды. ***Митохондрии*** присутствуют во всех эукариотических клетках. Они запасают энергию, поэтому их часто называют «энергетическими станциями» клетки. Число митохондрий в клетке зависит от её потребности в энергии и может меняться от нескольких штук до нескольких тысяч.

Пластиды присутствуют только в клетках растений. *Хлоропласты* содержат зелёный пигмент хлорофилл, благодаря которому происходит фотосинтез. В клетке листа растения содержится обычно несколько десятков хлоропластов. В *хромопластах* вместо хлорофилла находятся пигменты красно-оранжевого цвета, которые определяют окраску цветов, плодов и осенних листьев. Третья разновидность пластид – бесцветные *лейкопласты* выполняют запасательную функцию.

Строение митохондрий и пластид схоже. И те и другие имеют две мембраны: внешнюю гладкую и внутреннюю, образующую складки. В мембранах этих складок, которые в митохондриях называются кристами, а в хлоропластах – тилакоидами, происходят основные процессы энергетического обмена и фотосинтеза. Митохондрии и пластиды называют полуавтономными органоидами. Они имеют собственные ДНК, рибосомы и способны размножаться делением. Существует мнение, что митохондрии и пластиды когда-то были самостоятельными прокариотическими организмами, которые в процессе эволюции были захвачены другими прокариотами. Потеряв самостоятельность, они стали органоидами и перешли к обитанию внутри клеток.

Форму клетке помогает поддерживать опорная система, так называемый ***цитоскелет***. Он состоит из микротрубочек, которые имеют диаметр около 20 нм и пронизывают всю цитоплазму. Микротрубочки образуются в органоиде, называемом *клеточным центром.* Клеточный центр состоит из двух частиц – центриолей – и играет важную роль в процессе клеточного деления.

Некоторые клетки имеют органоиды для передвижения – ***жгутики*** и ***реснички.*** Жгутик обычно один или их несколько, а число ресничек может доходить до нескольких тысяч. Жгутики вращаются как винты, а реснички, как вёсла, совершают постоянные гребки. Причём реснички есть только у животных, в то время как жгутики могут быть у клеток животных, растений и бактерий.

Проверьте свои знания

1. Расскажите, как устроена плазматическая мембрана. Изобразите схематично её строение.

2. Что представляет собой хроматин?

3. Сравните диплоидный и гаплоидный наборы хромосом.

4. Какие функции выполняют лизосомы?

5. Как вы считаете, когда число митохондрий и пластид в клетках увеличивается? Объясните свою точку зрения.

6. Как с эволюционной точки зрения можно объяснить наличие двух мембран у митохондрий и пластид?

7. Чем различаются жгутики и реснички? Вспомните из курса биологии, какие вам известны организмы, имеющие такие органоиды передвижения.

Задания

Составьте и заполните в тетради таблицу «Органоиды клетки: особенности строения и функции».

§ 21 Прокариотические клетки. Вирусы

Фаг – всего лишь ДНК
В оболочке из белка,
Но, уж коль напали фаги,
Быть микробу в саркофаге.
Фаг бактерию словил,
Ножку к стенке прикрепил,
Оболочку скинул вмиг
И в бактерию проник.
Глянул: «Ишь ты – нуклеоид!
Поработать, право, стоит.
Уж заставлю я тебя
Потрудиться на себя!»
Фаг размножился на славу,
Огляделся, крикнул «Браво!»,
Клетку в клочья разорвал
И со всей семьёй удрал.

Прокариоты

Самые древние организмы нашей планеты не имеют клеточного ядра и мембранных органоидов. Поэтому их называют прокариотами, т. е. доядерными или предъядерными. К прокариотам относят представителей царства дробянок, куда входят бактерии и цианобактерии (синезелёные водоросли). Наследственный материал прокариот представлен кольцевой молекулой ДНК, расположенной в цитоплазме (рис. 51). Эта молекула не образует комплекса с белками, её называют *нуклеоидом.*

Размеры прокариотических клеток обычно значительно меньше, чем эукариотических. В то время как величина первых обычно составляет десятки или сотни микрометров, а иногда достигает нескольких сантиметров, размеры прокариотических клеток редко превышают 10 мкм, а часто составляют всего около 0,2–0,3 мкм[8].

В клетках прокариот отсутствуют митохондрии и пластиды, ЭПС, лизосомы и аппарат Гольджи. Для тех процессов, в которых необходимо участие мембран, существуют мембранные складки непостоянной формы, называемые *мезосомами.* Синтез белка

обеспечивают мелкие рибосомы. Прокариотическая клетка, так же как и эукариотическая, окружена плазматической мембраной, поверх которой находится плотная оболочка, построенная из полисахарида муреина.

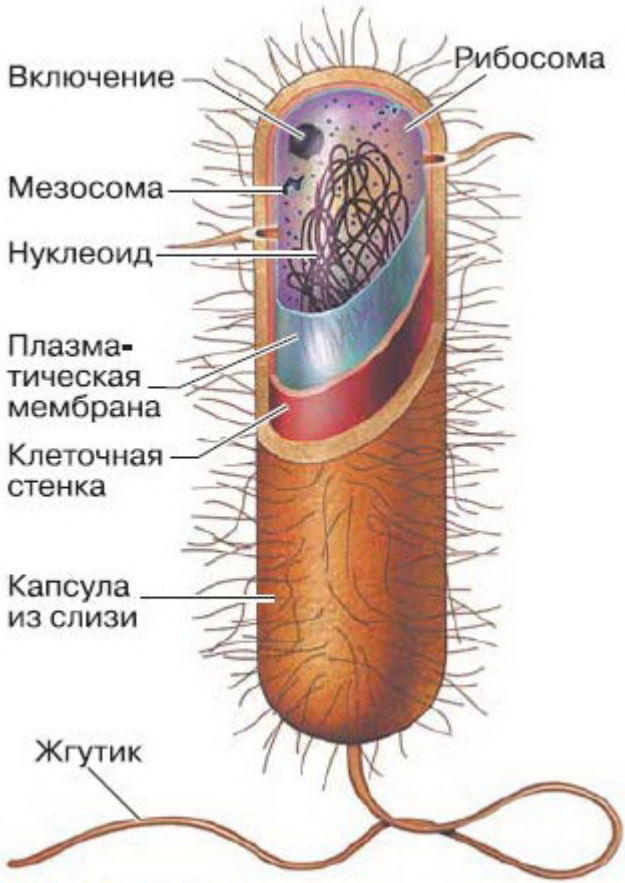


Рис. 51. Строение прокариотической клетки

Над этой оболочкой часто располагается слизистая капсула. Многие прокариоты имеют жгутики, с помощью которых они передвигаются.

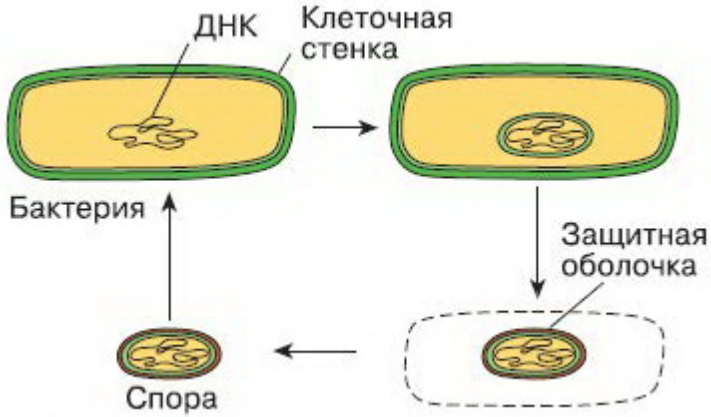


Рис. 52. Образование спор у бактерий

В неблагоприятных условиях многие бактерии способны образовывать споры (рис. 52). При этом они покрываются очень плотной оболочкой и прекращают свою жизнедеятельность. Когда же наступают благоприятные условия (а это может произойти через десятки, сотни, а иногда и через миллионы лет), спора вновь становится активно живущей бактерией.

Внешний вид прокариотических клеток не отличается большим разнообразием. В большинстве случаев это палочки, прямые или изогнутые, или шарики (рис. 53). Бактерии в виде палочек называют ***бациллами,*** а бактерии круглой формы – ***кокками***. Существуют ещё *вибрионы* – короткие загнутые клетки, а также спиралевидные бактерии – ***спириллы*** и ***спирохеты.***

Многие прокариоты являются *аэробами,* т. е. им для жизнедеятельности необходим кислород. Однако существуют и *анаэробные* бактерии, для которых кислород губителен. Это возбудители столбняка, газовой гангрены, ботулизма. Обычно споры этих бактерий находятся в почве, где не проявляют признаков жизни. Попадая в благоприятные условия, споры активизируются, и бактерии начинают размножаться, выделяя при этом чрезвычайно опасные для человека токсины. Сильнейшим из известных ядов для человека является токсин ботулизма: его смертельная доза составляет менее 0,000001 г.

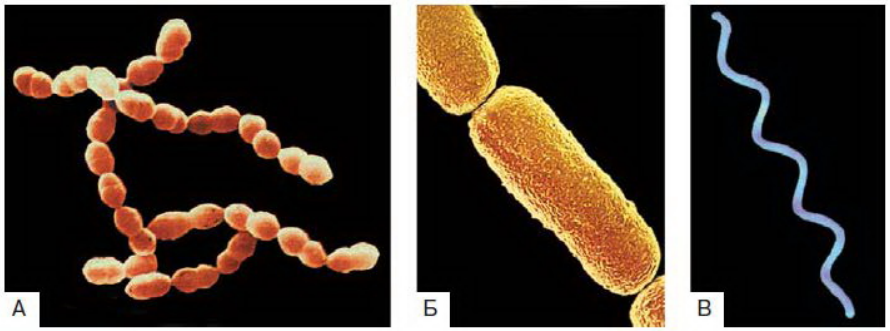


Рис. 53. Формы прокариотических клеток: А – цепочки кокков (стрептококки); Б – бациллы; В – спириллы

Отравление ботулизмом обычно происходит при употреблении недостаточно хорошо отмытых от почвы продуктов (огурцов, грибов), законсервированных в домашних условиях. Кипячение не убивает споры этого микроорганизма, а его последующее размножение в закупоренных без доступа воздуха сосудах приводит к образованию смертельного для человека токсина. Почти так же опасно отравление столбнячным токсином, возбудитель которого поступает в организм через загрязнённые раны.

По типу питания бактерии подразделяют на *сапрофитов* и *паразитов*. Первые – это в основном бактерии гниения. Они выполняют очень важную роль в биосфере, минерализуя органические остатки, т. е. превращая мёртвую органику в минеральные соли. Эти соли впоследствии используются растениями. Огромная роль в биосфере принадлежит также ***азотфиксирующим*** бактериям, способным улавливать из атмосферы газообразный азот и превращать его в соединения, которые тоже усваиваются растениями.

Другую группу составляют бактерии, паразитирующие на живых организмах, в частности на человеке. Некоторые из них вырабатывают токсичные вещества и могут вызывать такие опасные болезни, как туберкулёз, дизентерия, брюшной тиф, чума, холера, сибирская язва. В Средние века, когда ещё не существовало эффективных мер для обеззараживания продуктов и предметов быта и не было соответствующего лечения, от чумы или холеры иногда вымирали целые города.

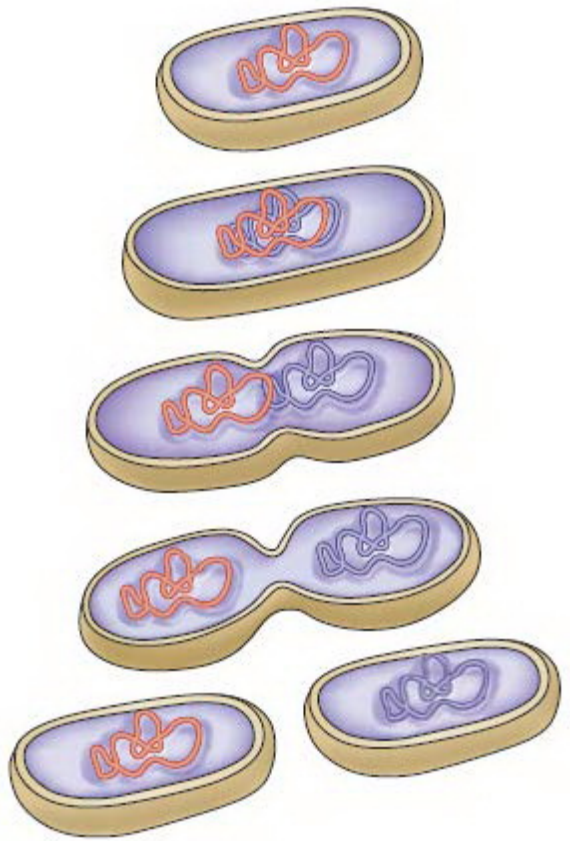


Рис. 54. Деление прокариотической клетки

Прокариоты размножаются путём простого деления (рис. 54). ДНК нуклеоида удваивается, после чего клетка делится пополам в поперечном направлении. В благоприятных условиях бактериальная клетка делится каждые 20 минут. Иногда у бактерий наблюдаются примитивные виды полового процесса, при котором часть ДНК одной клетки переносится в другую клетку. В результате происходит пере комбинация генетического материала, что, в частности, приводит к увеличению устойчивости бактерий к неблагоприятным условиям, например к действию антибиотиков.

Вирусы

Существуют организмы, вообще не имеющие клеточного строения. Их называют вирусами (от лат. «вирус» – яд). Вирус состоит из нуклеиновой кислоты (ДНК или РНК), заключённой в белковую оболочку – капсид (рис. 55). Вирусы могут

размножаться только внутри других, прокариотических или эукариотических, клеток, поэтому все они являются паразитами бактерий, растений, грибов или животных, включая человека.

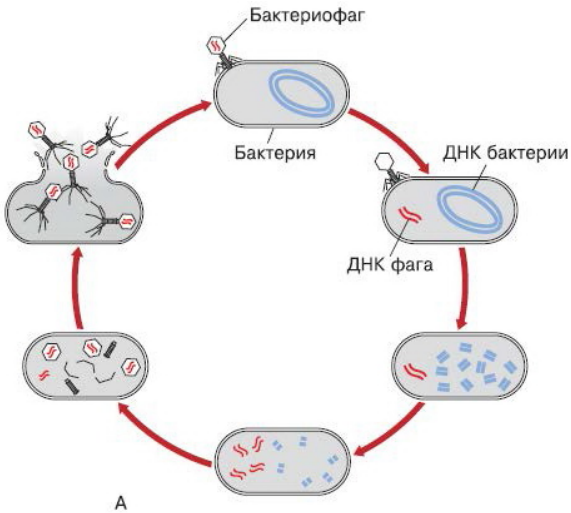
Рис. 55. Вирусы: схемы строения и электронные фотографии

Вирусы, паразитирующие на бактериях, называют бактериофагами или просто фагами.

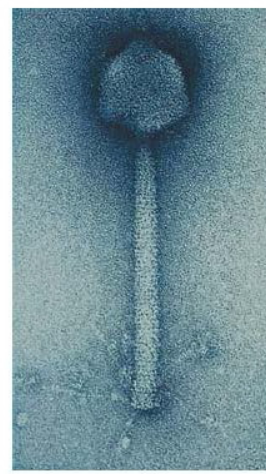
Малые размеры (от 30 до 500 нм) позволяют вирусам проникать через поры фильтров, которые обычно задерживают бактерии. Поэтому они и получили своё название, так как вначале было не ясно, являются возбудители ряда болезней организмами или ядами. Для размножения вирус должен проникнуть внутрь клетки. Иногда он входит в неё целиком – вместе с капсидом, а иногда, действуя подобно шприцу, впрыскивает через мембрану свою нуклеиновую кислоту, которая взаимодействует с генетическим аппаратом поражённой клетки (рис. 56). В результате клетка начинает производить те нуклеиновые кислоты и белки, которые требуются не ей, а вирусу. Образовавшиеся в клетке вирусы разрывают мембрану и начинают заражать соседние клетки. Для того чтобы избежать заражения, клетки способны синтезировать специальное вещество – интерферон.

Вирусные заболевания

Вирусы, так же как и бактерии, являются возбудителями многих болезней человека. Вирусными заболеваниями являются грипп, корь, ветряная оспа, краснуха, коклюш и др. Основная трудность лечения вирусных заболеваний заключается в том, что на вирусы не действуют антибиотики. К наиболее опасным вирусным заболеваниям относится натуральная (или, как её называли раньше, чёрная) оспа. От неё, так же как от чумы и холеры, раньше вымирали целые города. Резко снизить, а затем и вовсе уничтожить оспу удалось с помощью вакцинации.



А


Б

В конце XVIII в. было обнаружено, что у лошадей и коров встречается болезнь, напоминающая человечью оспу, но протекающая в гораздо более лёгкой форме. Доярки часто перебаливали коровьей оспой и после этого не заражались натуральной. Обращал на себя внимание также интересный факт, что в кавалерии заболеваемость оспой была значительно ниже, чем в пехоте. Первые опыты по прививке оспы провёл английский врач Эдвард Дженнер (1749–1823) (рис. 57).

Рис. 57. Э. Дженнер

Прививая пациентам коровью оспу, он обнаружил, что после этого они становятся невосприимчивыми к оспе натуральной. С начала XIX в. прививка оспы стала повсеместной, после чего это заболевание резко пошло на убыль. Последний случай заболевания оспой был зарегистрирован в 1977 г. в Сомали. В настоящее время вирусы оспы существуют только в лабораториях.

ВИЧ

В 1983 г. был открыт вирус иммунодефицита человека (ВИЧ), который вызывает синдром приобретённого иммунодефицита (СПИД). ВИЧ-инфицированные люди в течение долгого времени могут не обнаруживать симптомы болезни. Однако в определённый момент вирус начинает размножаться, заражая в первую очередь клетки, связанные с иммунной системой. Размножаясь в них, он поражает всё новые и новые клетки. В результате иммунитет человека уже не справляется с болезнями, обычно неопасными для людей с нормальной иммунной системой.

Не следует, однако, думать, что вирусы могут приносить человеку только вред. Бактериофаги, уничтожающие болезнетворных бактерий, часто используют в медицине для лечения инфекционных болезней.

Проверьте свои знания

1. Что представляет собой генетический аппарат прокариотических клеток?
2. Какую роль выполняют споры у бактерий? Чем споры бактерий отличаются от спор растений?
3. Какие вам известны бактериальные и вирусные заболевания?
4. Используя рисунок 55, опишите строение вируса.
5. Когда и кем были внедрены прививки против натуральной оспы?
6. Используя знания, полученные в курсе «Человек и его здоровье», объясните, чем различаются вакцина и сыворотка.

Задания

1. Составьте и заполните в тетради сравнительную таблицу «Строение эукариотической и прокариотической клетки», самостоятельно выделив критерии сравнения.
2. Используя дополнительные источники информации, подготовьте сообщение на одну из тем: «Вирусы: история открытия», «Инфекционные заболевания: пути заражения и меры профилактики».
3. Создайте портфолио по теме «Роль вирусов в жизни организмов и эволюции органического мира на Земле».

§ 22 Энергетический обмен

Чтобы мыслить, надо есть, – никуда не денешься! Да, но зато сколько разных мыслей может произвести на свет один и тот же кусок хлеба!

Пьер Тейяр де Шарден, французский палеонтолог и философ

Как вам уже известно, любой процесс требует затраты энергии. При её отсутствии увеличивающаяся энтропия приведёт к полному хаосу внутри системы и сделает невозможной любую работу.

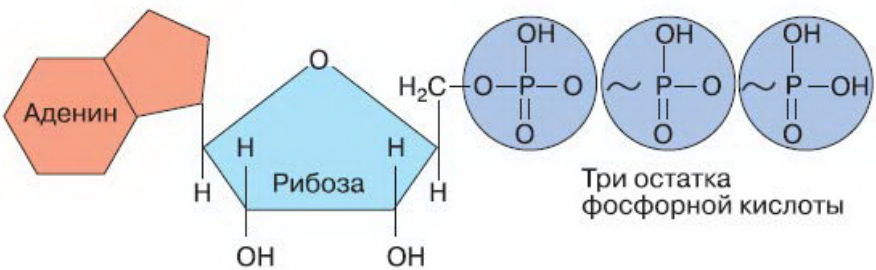


Рис. 58. Строение молекулы АТФ

Для живой клетки это особенно важно. Клетка обладает такой высокой упорядоченностью своих структур, требует такой определённой концентрации веществ в каждой своей части, что малейшее беспорядочное движение может её разрушить. Кроме того, в клетке постоянно происходит синтез необходимых ей веществ. Этот процесс называют *пластическим обменом* или *ассимиляцией,* он тоже требует больших затрат энергии. Поэтому клетке требуется постоянный приток свободной энергии. Откуда же она берётся?

Практически все энергетические потребности клетки обеспечиваются одним-единственным процессом – распадом молекулы ***аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ).*** АТФ – это нуклеотид, содержащий азотистое основание аденин, пятиуглеродный сахар (рибозу) и три остатка фосфорной кислоты[9](рис. 58). В молекуле АТФ связи между остатками фосфорной кислоты обладают очень высокой энергией, поэтому

их называют ***макроэргическими*** (от греч. «макрос» – большой и «эргон» – деятельность, работа). При разрыве этих связей выделяется большое количество энергии, которая и используется клеткой. Как правило, отщепляется только одна молекула фосфорной кислоты:

АТФ → АДФ + HPO^{-}_{4} + энергия,

где АДФ – аденозиндифосфорная кислота. В некоторых случаях, когда требуется особенно много энергии, могут отщепляться сразу две молекулы фосфорной кислоты.

Для поддержания жизнедеятельности энергия клетке требуется постоянно, а запасы АТФ относительно невелики. Поэтому их требуется непрерывно пополнять. Это происходит путём образования АТФ из АДФ и остатка фосфорной кислоты. Такой процесс называют *фосфорилированием:*

АДФ + HPO^{-}_{4} → АТФ.

Рис. 59. Этапы энергетического обмена

Но, как вы помните, существует закон сохранения энергии, поэтому, если во время протекания первой реакции энергия выделяется, то, для того чтобы осуществить вторую реакцию, энергию надо затратить.

Энергию, необходимую для синтеза АТФ, организм получает, расщепляя крупные органические молекулы на более мелкие. В идеальном случае в результате такого распада получаются вода и углекислый газ. Совокупность таких реакций называют ***энергетическим обменом*** **или** ***диссимиляцией*** [10] (рис. 59). В результате разрыва химических связей и образуется энергия, которую организм запасает в молекулах АТФ. В принципе источником энергии могут служить многие органические вещества, но мы рассмотрим процесс выделения энергии на примере моносахарида глюкозы, как одного из главных поставщиков энергии.

Химическая формула глюкозы – $C_6H_{12}O_6$. Человек потребляет глюкозу чаще всего в виде её полимеров – крахмала, который содержится в растительной пище, или гликогена, который входит в состав продуктов животного происхождения.

Первый, подготовительный этап энергетического обмена происходит в кишечнике. Там эти полисахариды расщепляются до

мономеров – молекул глюкозы. Затем глюкоза с током крови поступает ко всем клеткам организма.

Следующий этап энергетического обмена *(гликолиз)* протекает прямо в цитоплазме и не требует кислорода. В результате гликолиза молекула глюкозы распадается пополам, образуя две молекулы пировиноградной кислоты (ПВК), формула которой $C_3H_4O_3$. Поэтому реакция выглядит так:

$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_3H_4O_3 + 4H$.

Энергии при этом выделяется совсем немного: её хватает на образование всего двух молекул АТФ. Если в клетке не хватает кислорода, то образуется молочная кислота ($C_3H_6O_3$). Накопление молочной кислоты вызывает болевые ощущения, которые возникают, например, у нетренированных людей после очень интенсивной мышечной нагрузки. Кроме того, молочная кислота может стимулировать дыхательный центр головного мозга, что усиливает поступление кислорода в организм.

Если же в клетке кислорода достаточно, то осуществляется третий этап энергетического обмена – клеточное дыхание. Процессы клеточного дыхания требуют обязательного присутствия кислорода и происходят в митохондриях. В результате глюкоза полностью распадается, образуя воду и углекислый газ, и при этом образуется 36 молекул АТФ. Таким образом, реакция полного окисления молекулы глюкозы выглядит так:

$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 38АДФ + 38H_3PO_4 \rightarrow 6CO_2 + 44H_2O + 38АТФ$.

Или в упрощённом виде без учёта изменений в носителях энергии:

$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O$.

Кстати, один из сильнейших ядов – цианистый калий нарушает работу одного из ферментов клеточного дыхания. В результате все клетки организма теряют способность усваивать кислород, что и приводит к быстрой гибели организма.

Проверьте свои знания

1. Сравните процессы пластического и энергетического обменов. Как вы думаете, почему их иногда называют двумя сторонами одной медали?
2. Какой процесс называют фосфорилированием? В чём он заключается?
3. В каких случаях в клетке образуется молочная кислота?
4. Где происходит заключительный кислородный этап

клеточного дыхания?

Задания

1. Объясните, почему болевые ощущения в мышцах после большой физической нагрузки у спортсменов возникают гораздо реже, чем у нетренированных людей.

2. Для снятия мышечной боли после интенсивных занятий спортом обычно рекомендуют принять тёплую ванну. Как вы считаете, почему?

§ 23 Автотрофное питание

В конце XVIII в. английский учёный Джозеф Пристли сообщил, что он «случайно обнаружил метод исправления воздуха, который был испорчен горением свечей». 17 августа 1771 г. Пристли «… поместил живую веточку мяты в закрытый сосуд, в котором горела восковая свеча», а 21-го числа того же месяца обнаружил, что «…другая свеча снова могла гореть в этом же сосуде». «Исправляющим началом, которым для этих целей пользуется природа, – полагал Пристли, – было растение». Он расширил свои наблюдения и скоро показал, что воздух, «исправляемый» растением, не был «совсем не подходящим для мыши».

Фотосинтез

Итак, мы знаем, что в процессе диссимиляции происходит распад глюкозы и освобождающаяся при этом энергия запасается в молекулах АТФ. Естественно, для того чтобы запустить этот процесс, требуется наличие глюкозы. Гетеротрофные организмы получают эту глюкозу с пищей. А где берут её автотрофные организмы, которые не питаются органическими веществами? Им приходится её синтезировать самостоятельно, используя воду и углекислый газ. Однако для того, чтобы что-то синтезировать, нужна энергия. Большинство автотрофных организмов используют энергию солнечного света. Процесс использования солнечной энергии для синтеза органических веществ (в первую очередь глюкозы) называют ***фотосинтезом.***

Фотосинтез происходит с помощью зелёного пигмента ***хлорофилла,*** который находится во внутренней мембране хлоропластов растений – в мембране тилакоидов. Вспомните материал из учебника 10 класса, где говорилось о свойствах света. Выясним, почему хлорофилл зелёный. Очевидно, потому, что он отражает световые лучи зелёной области видимой части

спектра, а остальные лучи, например красные и синие, – поглощает. Следовательно, для фотосинтеза зелёный свет не требуется, и если вы будете освещать растение зелёным светом, даже очень ярким, в конце концов оно погибнет. Хлорофилл поглощает свет и использует его энергию для фотосинтеза (рис. 60). Вспомним, что происходит с молекулой, когда она захватывает квант электромагнитного излучения, в нашем случае света. Поглощение энергии приводит к тому, что часть электронов молекулы или атома перемещается на более высокие орбитали. При этом некоторые электроны могут оказаться так далеко от своего ядра, что потеряют с ним связь и покинут молекулу. Именно так и происходит в молекуле хлорофилла. Фотон «выбивает» из неё электроны, которые захватываются специальными переносчиками. Естественно, что при этом молекула хлорофилла теряет некоторую энергию, которая может быть использована для образования нескольких молекул АТФ.

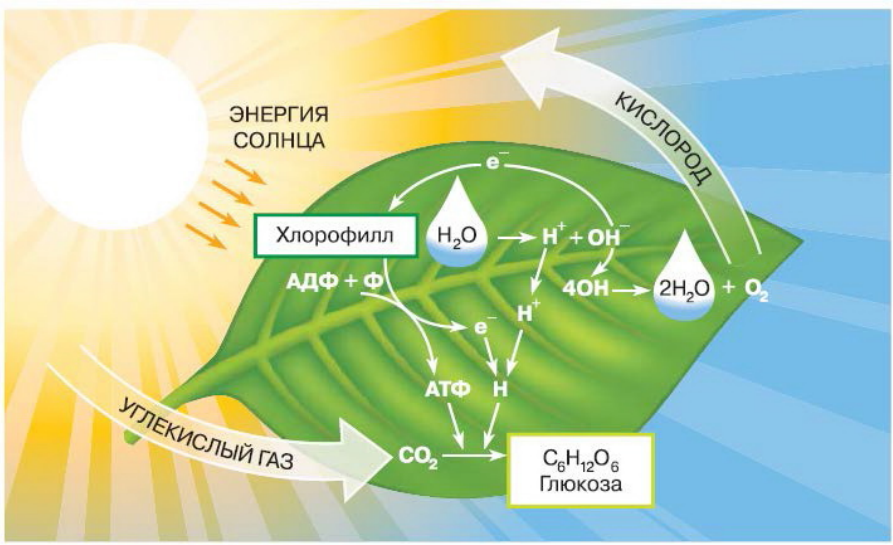


Рис. 60. Схема фотосинтеза

После того как электроны покидают молекулу хлорофилла, она становится положительно заряженной. Для того чтобы восстановить прежнее состояние, хлорофилл отбирает недостающие электроны у молекулы воды. Так как у этой молекулы нет лишних электронов, ей приходится распадаться на кислород и водород:

$2H_2O - 4\bar{e} \rightarrow 4H^+ + O_2$.

Этот процесс называют фотолизом воды (от греч. «фотон» – свет и «лизис» – распад, разрушение). Образовавшийся при этом кислород выделяется в атмосферу, где его и используют для

дыхания все аэробные живые организмы. Ионы водорода (протоны) присоединяются к специальному переносчику и в комплексе с ним приобретают большой запас энергии. На этом заканчивается первая фаза фотосинтеза, которая протекает на мембранах тилакоидов и носит название ***световой фазы.***

Вторую стадию фотосинтеза называют ***темновой,*** потому что для её осуществления свет не требуется. Не нуждается она и в ферментах клеточных мембран, поэтому протекает прямо в строме[11] хлоропласта. На этой стадии энергия, накопленная в макроэргических связях АТФ и в связанном водороде, используется для синтеза глюкозы из водорода и углекислого газа. Уравнение темновой стадии выглядит так:

$6CO_2 + 24H \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6H_2O$,

а общее уравнение фотосинтеза в упрощённой форме без учёта веществ – носителей энергии – имеет такой вид:

$6CO_2 + 6H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$.

Сравним это уравнение с последним уравнением предыдущего параграфа. Легко заметить, что оно полностью соответствует ему с той лишь разницей, что записано в обратном порядке. Таким образом, фотосинтез как пример пластического обмена и энергетический обмен образуют в природе замкнутый цикл превращения энергии.

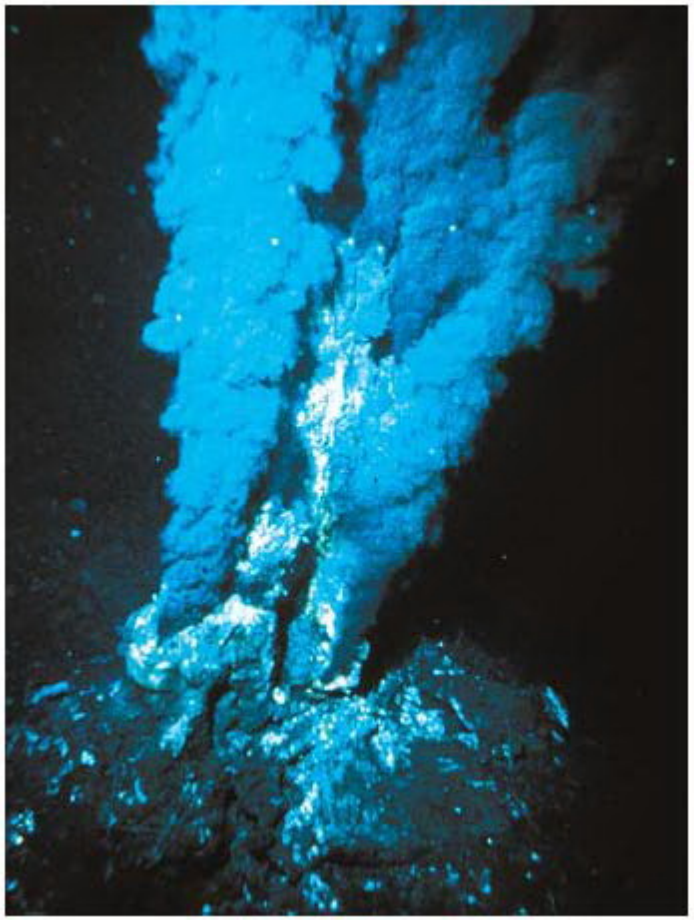


Рис. 61. Сообщества микроорганизмов чёрных курильщиков представлены хемотрофными бактериями, это основные продуценты на дне океанов. Чёрные курильщики – это действующие на дне океанов многочисленные источники, из которых в океаны под давлением в сотни атмосфер поступает высокоминерализованная горячая вода.

Солнечная энергия расходуется на образование химических связей в молекуле глюкозы, а затем при расщеплении этих связей энергия вновь освобождается, только уже не в виде энергии света, а в виде макроэргических связей АТФ. Разумеется, не вся энергия солнечного света, падающего на землю, запасается в АТФ. В соответствии со вторым началом термодинамики значительная её часть рассеивается в виде тепла. И всё же интенсивность фотосинтеза такова, что 1 м^2 листьев в течение часа образует около 1 г глюкозы.

Роль фотосинтеза на Земле уникальна. Это единственный процесс, который поставляет Земле свободную энергию за счёт

внешнего источника. В результате фотосинтеза все живые организмы, обитающие на нашей планете, получают энергию в виде пищевых веществ и кислород, необходимый большинству этих организмов для дыхания. В течение года в результате фотосинтеза на Земле образуется около 150 млрд т органических веществ и при этом выделяется почти 200 млн т кислорода. При этом снижается количество углекислого газа в атмосфере, что препятствует перегреву Земли в результате парникового эффекта. Большую часть фотосинтеза осуществляют леса, поэтому их интенсивная вырубка представляет серьёзную угрозу для существования жизни на нашей планете.

Хемосинтез

Другой группой автотрофных организмов являются хемосинтетики, использующие в качестве источника энергии окислительно-восстановительные реакции неорганических соединений. Хемосинтетиками могут быть только бактерии: ***железобактерии*** окисляют двухвалентное железо до трёхвалентного, ***серобактерии*** превращают сероводород в молекулярную серу и серную кислоту, ***нитрифицирующие*** бактерии окисляют образующийся в результате гниения различных органических веществ аммиак до азотистой и азотной кислот, соли которых могут использовать растения.

Роль хемосинтетиков в жизни нашей планеты чрезвычайно велика, так как они участвуют в круговороте важнейших химических элементов, без которых невозможно существование жизни (рис. 61).

Проверьте свои знания

1. Почему постоянный зелёный свет губителен для растений?
2. Что такое фотолиз воды?
3. Где протекает световая фаза фотосинтеза?
4. Из какого соединения образуется выделяемый при фотосинтезе кислород?
5. На какие группы делят бактерии-хемосинтетики?

Задания

1. Вспомните материал из учебника 10 класса, где

рассказывалось о том, как энергия света зависит от длины его волны, и объясните, почему осенью хлоропласты, содержащие зелёный хлорофилл, сменяются хромопластами, содержащими красный и жёлтый пигменты.

2. Вспомните, какие пигменты используют для фотосинтеза самые глубоководные растения нашей планеты. Как называются эти растения? Почему их пигменты такого цвета?

3. Используя дополнительные источники информации и знания, полученные из курса биологии, расскажите о значении этих растений в природе и жизни человека.

4. Используя дополнительные источники информации, подготовьте сообщение или презентацию на тему «Бактерии-хемосинтетики и их роль в круговороте веществ в природе».

§ 24 Генетический код и биосинтез белка

Двойной спиралью ДНК
Сильна, хитра, стройна, ловка.
«Белок создать? Давно пора!
И,словно тень легка,
Сверкнув, умчалась из ядра
витая РНК.

К рибосоме стремись, РНК,
Без тебя не видать нам белка.
Коль поспеет молекула в срок,
Значит, клетка получит белок.

В рибосоме, могучие с виду,
В ряд построились нуклеотиды,
И идут, как конвейера ленты,
В рибосому ферменты, ферменты…

Скоро пептидные связи замкнутся,
Скоро в белке силы жизни проснутся,
Вырастет клетка большая, и снова
Клетка к делению будет готова.

Мы знаем, что белки определяют жизнедеятельность любой клетки и выполняют в ней самые разнообразные функции. Но белки – это крайне недолговечные соединения: самые устойчивые из них существуют не более нескольких месяцев. Поэтому белковые молекулы нужно постоянно обновлять. Кроме того, в зависимости от возраста, состояния и вида деятельности организму требуются разные белки в разных соотношениях. По

этой причине в каждой клетке постоянно происходит синтез новых молекул белка. При этом необходимо, чтобы структура белка, т. е. последовательность входящих в него аминокислот, всегда в точности соответствовала требуемой, ведь малейшая ошибка может иметь роковые последствия. Так, если в молекуле гемоглобина, состоящей из 574 аминокислот, заменить всего две, у человека появится тяжёлое наследственное заболевание – серповидно-клеточная анемия, которая обычно приводит к смерти в раннем возрасте. Поэтому ясно, что в клетке должно находиться хранилище, содержащее точную и надёжную информацию о структуре всех белков, которые в принципе могут быть синтезированы в организме.

Генетический код

Таким хранилищем, как мы уже знаем, являются молекулы ДНК. Участок молекулы ДНК, в котором закодирована информация о структуре одной молекулы белка, называют ***геном.*** Соответствие последовательности нуклеотидов в ДНК последовательности аминокислот в соответствующем ей белке называется ***генетическим кодом***.

Нуклеотид					
1-й	2-й				3-й
	У	Ц	А	Г	
У	УУУ, УУЦ — Фенилаланин УУА, УУГ — Лейцин	УЦУ, УЦЦ, УЦА, УЦГ — Серин	УАУ, УАЦ — Тирозин УАА, УАГ — *стоп-кодоны*	УГУ, УГЦ — Цистеин УГА — *стоп-кодон* УГГ — Триптофан	У Ц А Г
Ц	ЦУУ, ЦУЦ, ЦУА, ЦУГ — Лейцин	ЦЦУ, ЦЦЦ, ЦЦА, ЦЦГ — Пролин	ЦАУ, ЦАЦ — Гистидин ЦАА, ЦАГ — Глютамин	ЦГУ, ЦГЦ, ЦГА, ЦГГ — Аргинин	У Ц А Г
А	АУУ, АУЦ — Изолейцин АУА — Метионин АУГ — *старт-кодон*	АЦУ, АЦЦ, АЦА, АЦГ — Треонин	ААУ, ААЦ — Аспарагин ААА, ААГ — Лизин	АГУ, АГЦ — Серин АГА, АГГ — Аргинин	У Ц А Г
Г	ГУУ, ГУЦ, ГУА, ГУГ — Валин	ГЦУ, ГЦЦ, ГЦА, ГЦГ — Аланин	ГАУ, ГАЦ — Аспарагиновая кислота ГАА, ГАГ — Глутаминовая кислота	ГГУ, ГГЦ, ГГА, ГГГ — Глицин	У Ц А Г

Рис. 62. Таблица генетического кода (РНК)

Так как число существующих в организме типов белков значительно больше, чем число молекул ДНК в клетке, то в каждой молекуле ДНК, т. е. в каждой хромосоме, находится

множество генов.

Рассмотрим организацию генетического кода (рис. 62). Так как в ДНК существует всего 4 вида нуклеотидов, а число типов аминокислот, образующих белки, равно двадцати, то очевидно, что одна аминокислота не может определяться одним нуклеотидом. Посмотрим, что было бы, если бы конкретной аминокислоте соответствовала бы пара нуклеотидов. Из четырёх нуклеотидов можно составить $4 \cdot 4 = 16$ разных пар, что для 20 аминокислот явно недостаточно. Посчитаем, сколько вариантов комбинаций можно получить, используя сочетания по три нуклеотида: $4 \cdot 4 \cdot 4 = 64$. Для имеющихся типов аминокислот это слишком много, но, как говорится, запас карман не тянет. Оказывается, генетический код устроен именно так: каждой последовательности из трёх нуклеотидов, называемой *триплетом* или *кодоном,* соответствует единственная определённая аминокислота. Но поскольку триплетов больше, чем аминокислот, то обратное утверждение неверно: одна аминокислота может кодироваться более чем одним триплетом. Существуют всего две аминокислоты, каждой из которых соответствует единственный триплет, остальные могут кодироваться двумя, четырьмя, а иногда и шестью разными триплетами. Часто, для того чтобы узнать, какую аминокислоту кодирует данный триплет, достаточно знать только его первые два нуклеотида из трёх. Например, если мы имеем последовательность нуклеотидов «цитозин – гуанин» (ЦТ…), то можем быть уверены, что они соответствуют аминокислоте аланину, независимо от того, какой нуклеотид находится на третьем месте.

Среди 64 триплетов существуют 3, которые не кодируют ни одной аминокислоты. Когда синтез белка доходит до одного из таких триплетов, процесс биосинтеза белка останавливается и образовавшаяся на этот момент белковая цепь освобождается. Поэтому эти триплеты называют *стоп-кодонами.*

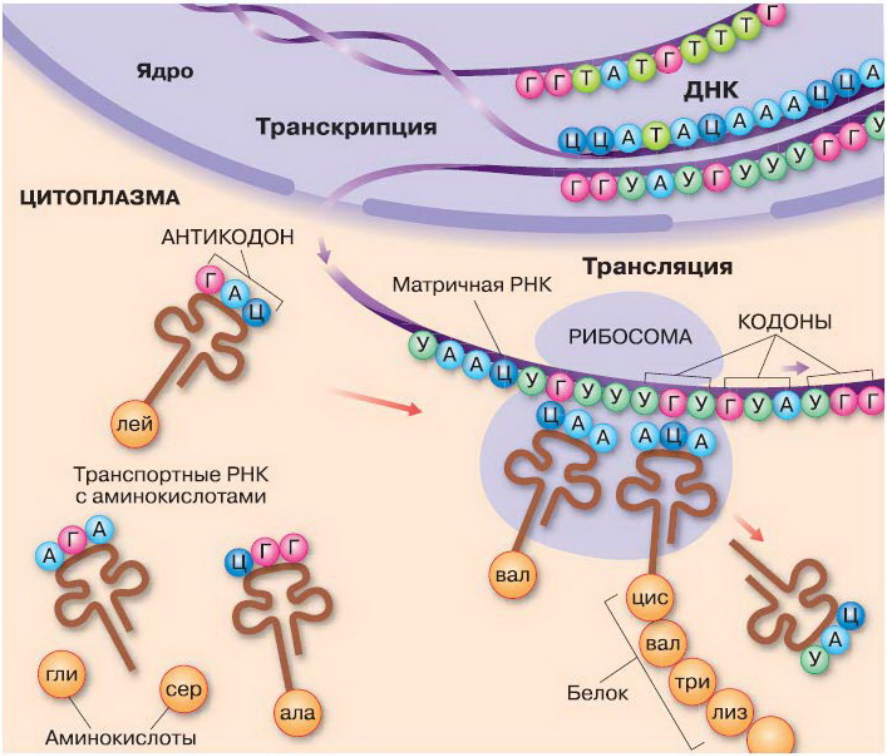


Рис. 63. Биосинтез белка

Биосинтез белка

Первый этап синтеза белковой молекулы происходит в ядре, где на участке ДНК, называемом геном, формируется молекула матричной, или информационной, РНК (иРНК). Этот процесс называют ***транскрипцией,*** т. е. *перепиской* «текста», содержащегося в ДНК, на молекулу РНК (рис. 63). Транскрипция происходит только на одной из двух цепочек ДНК, причём напротив аденина (А) вместо тимина (Т) ставится урацил (У). Например, на участке АТГГЦА синтезируется фрагмент иРНК со структурой УАЦЦГУ. Поэтому такой синтез называют ***матричным.*** Если изготовить матрицу, например какое-нибудь рельефное изображение на куске металла или дерева, а затем приложить её к мягкому материалу (воску или пластику), то мы получим точную копию исходного изображения, только обратную исходному: все выпуклости матрицы станут впадинами, и наоборот. Такое вот матричное изображение гена и представляет собой иРНК.

Молекула иРНК выходит из ядра и переносится к рибосоме –

органоиду, который осуществляет сборку белка, т. е. пептидной цепочки. Этот процесс называют ***трансляцией,*** т. е. *переводом* «текста» с языка нуклеотидов на язык аминокислот (см. рис. 63). В каждой клетке находится несколько миллионов рибосом. Рибосомы состоят из белка и специальной рибосомальной РНК (рРНК) и формируются в ядрышках ядра клетки. Каждая рибосома состоит из двух субъединиц – большой и малой. Между ними находится щель, через которую движется цепь иРНК.

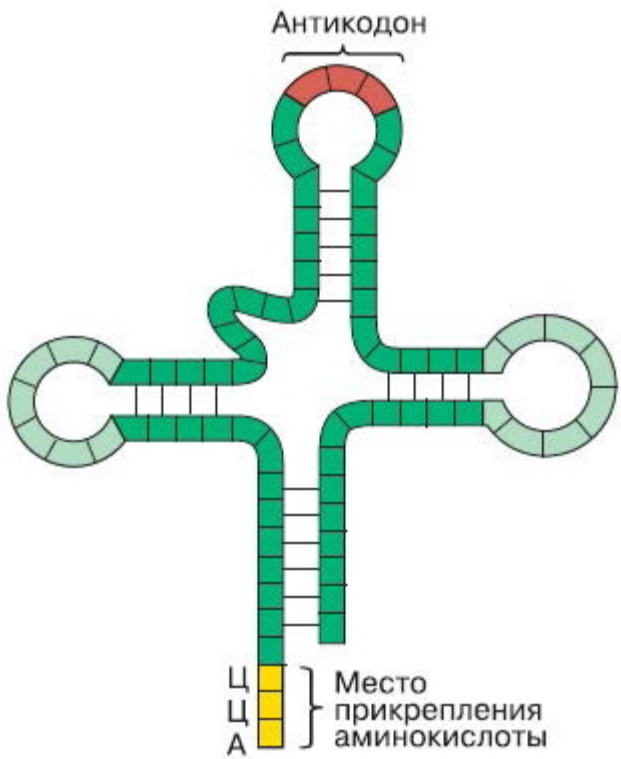


Рис. 64. Строение транспортной РНК

После того как рибосома связалась с первым триплетом иРНК, к ней подходит молекула ***транспортной РНК*** (тРНК). Транспортная РНК имеет форму листа клевера, причём на среднем «лепестке» у неё имеется триплет, комплементарный какому-либо триплету иРНК (рис. 64). Такой триплет называют *антикодоном.* Каждому виду тРНК, обладающему данным антикодоном, соответствует определённая аминокислота, которая может прикрепиться к данной тРНК.

Поясним это на примере. Триплет ДНК, кодирующий аминокислоту метионин, имеет строение ТАЦ. В результате транскрипции на нём образуется триплет иРНК – АУГ. Когда этот

триплет оказывается внутри рибосомы, к нему подходит и присоединяется тРНК с антикодоном УАЦ.

Эта молекула тРНК приносит в рибосому аминокислоту метионин. С этого начинается процесс трансляции.

Далее рибосома продолжает последовательно, «шагами», двигаться вдоль иРНК. Причём каждый «шаг» рибосомы равен трём нуклеотидам, т. е. одному триплету. На следующем этапе в рибосоме оказываются рядом уже два триплета: прежний АУГ и следующий, например ГГГ. В этот момент к рибосоме подходит тРНК с антикодоном ЦЦЦ. Эта тРНК приносит аминокислоту пролин. Теперь прежний метионин и вновь доставленный пролин оказываются рядом, и между ними образуется пептидная связь: формируется дипептид «метионин – пролин».

На следующем этапе рибосома сдвигается ещё на «шаг», тРНК с антикодоном УАЦ отделяется от неё и отправляется за новой молекулой метионина. Теперь в рибосоме находится тРНК с антикодоном ЦЦЦ, к ней прикреплён пролин, а к тому – с помощью пептидной связи – метионин. А к следующему триплету подходит новая молекула тРНК, например с антикодоном УУУ, и приносит аминокислоту лизин. Лизин соединяется пептидной связью с соседним пролином, и образуется трипептид «метионин – пролин – лизин». Затем рибосома сдвигается ещё на один «шаг», и процесс продолжается до тех пор, пока в рибосоме не появится участок иРНК, представляющий собой стоп-кодон. На этом синтез данной молекулы белка заканчивается.

Синтез крупной молекулы белка занимает около двух минут. При этом на присоединение к синтезируемому белку каждой аминокислоты и на движение рибосомы расходуется большое количество энергии.

Проверьте свои знания

1. Практически у всех живых организмов на нашей планете одни и те же триплеты кодируют одни и те же аминокислоты. Как вы думаете, о чём свидетельствует такая универсальность генетического кода?

2. Вы знаете, что у эукариотических организмов транскрипция и трансляция происходят в разных частях клетки. Как вы считаете, есть ли такое территориальное разделение этапов биосинтеза белка в прокариотических клетках? Приведите аргументы в пользу своей точки зрения.

3. Что такое трансляция и где она происходит?

4. Какие виды РНК вы знаете? Каковы их функции?

5. Что такое стоп-кодоны? Зачем они нужны?

Задания

Участок гена имеет последовательность нуклеотидов: ГЦЦАГТТААТЦГ. На нём происходит синтез иРНК, которая затем переносится в рибосому. Укажите антикодоны тРНК, которые участвуют в трансляции. Какая цепочка аминокислот при этом будет синтезирована?

§ 25 Деление клетки

Загадка
Она одна в тиши сырой,
Для всех невидима, живёт,
Но только лишь вдвоём с сестрой
Перед глазами предстаёт.
Едва появятся, они
Поссорятся и подерутся
И на оставшиеся дни
По разным кельям разбегутся,
Чтоб вновь невидимыми быть
Чтоб вновь невидимыми быть
(Ответ: хромосома)

Вы знаете, что одно из положений клеточной теории утверждает, что любая клетка образуется только в результате деления другой клетки. Все многоклеточные организмы, состоящие часто из многих триллионов клеток, происходят из одной-единственной клетки путём её последовательного деления. Одноклеточные организмы размножаются путём деления. Получается, что клеточное деление обеспечивает существование всего живого на нашей планете (рис. 65).

Подавляющее большинство эукариотических клеток, в том числе и клеток человека, делится путём *митоза.* В результате такого деления из одной исходной клетки образуются две дочерние клетки, генетически идентичные материнской. В начале развития молодого организма все его клетки способны к делению, что и определяет его активный рост. С течением времени некоторые клетки дифференцируются, т. е. начинают выполнять свои специфические функции. После этого некоторые из них теряют способность к делению. Так, например, сохраняются практически в неизменном виде в течение всей жизни организма нервные клетки. В других тканях, например в эпителиальной, которая образует поверхность кожи и выстилку внутренних органов, клетки, наоборот, никогда не теряют способности к делению.

Период от начала деления клетки до начала следующего

деления называют митотическим циклом. Он включает в себя подготовку к делению и само деление.

Рис. 65. Благодаря митозу в природе осуществляются не только рост и развитие, но и процессы регенерации. Восстановление морской звезды из фрагмента луча

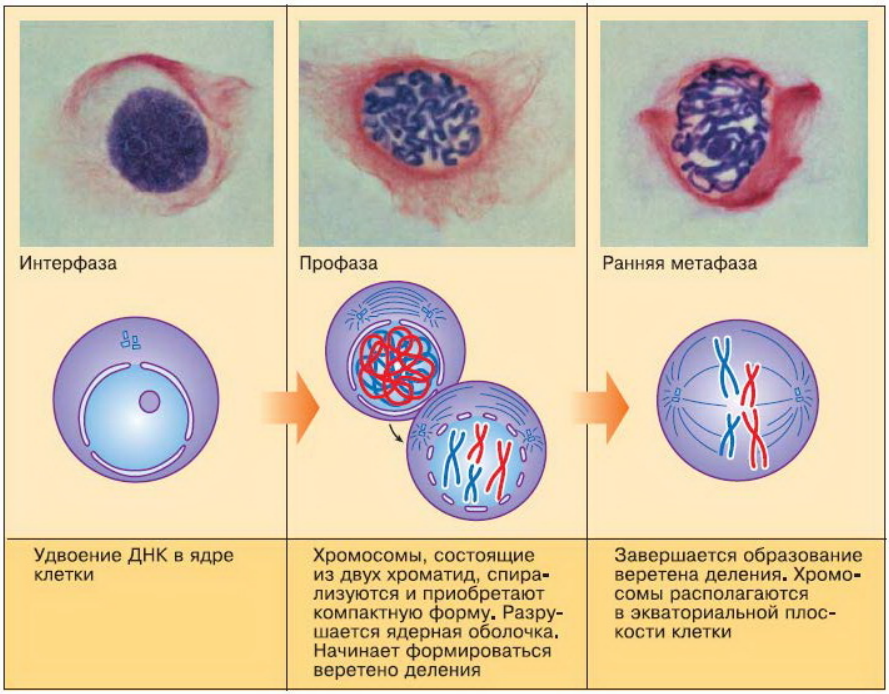


Рис. 66. Фазы митоза

В зависимости от того, в состав какой ткани входит клетка и

какие функции она выполняет, митотический цикл может иметь разную продолжительность.

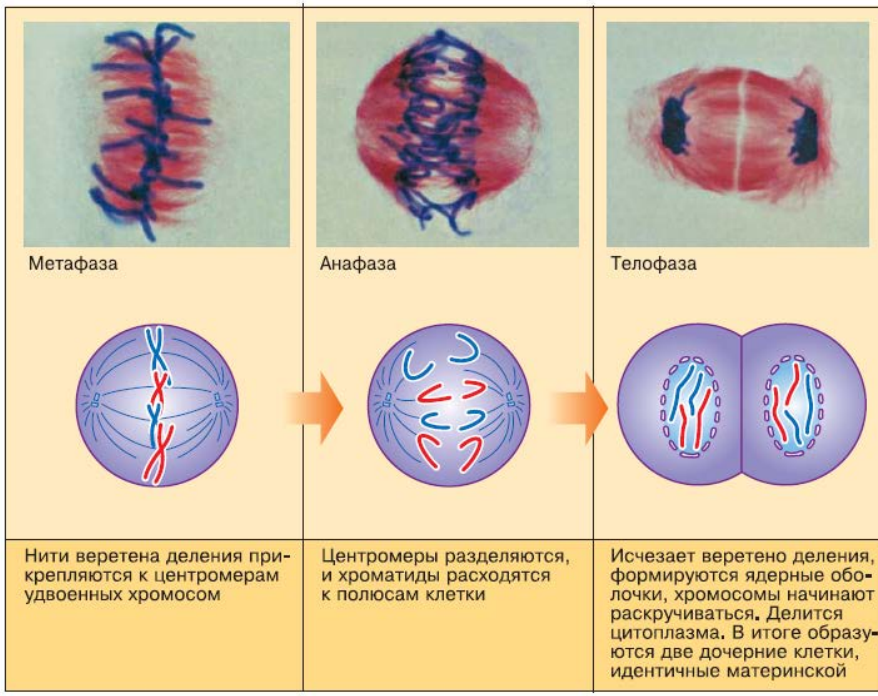
Интерфаза

Период подготовки клетки к делению называют ***интерфазой*** (рис. 66). В это время клетка растёт, активно потребляет питательные вещества, запасает АТФ. Важнейшим процессом, подготавливающим клетку к делению, является самоудвоение (редупликация) ДНК. Вспомните, что при редупликации каждая нить ДНК строит комплементарную себе цепочку. В результате после редупликации каждая хромосома состоит из двух абсолютно одинаковых частей, скреплённых между собой. Каждую из этих двух частей называют хроматидой. После этого удваивается клеточный центр, и вновь образовавшиеся пары центриолей расходятся к полюсам клетки.

Фазы митоза

Собственно деление клетки подразделяется на четыре фазы. Разделение это довольно условно, так как чётких границ между этими фазами не существует.

Профаза. Во время этой фазы хроматин активно спирализуется и скручивается. В результате каждая хромосома становится видна в обычный световой микроскоп и можно обратить внимание, что она состоит из двух половинок – хроматид, скреплённых в области центромеры.



В это же время исчезают ядрышки и разрушается ядерная оболочка, а центриоли начинают из микротрубочек формировать *веретено деления.*

Метафаза. Нити веретена деления прикрепляются к центромерам хромосом, а затем, попеременно сокращаясь и расслабляясь, выстраивают хромосомы в плоскости экватора клетки, образуя так называемую метафазную пластинку.

Анафаза. Центромеры разделяются пополам, и хроматиды отделяются друг от друга. При этом каждая из них становится самостоятельной хромосомой, состоящей из одной молекулы ДНК. Нити веретена деления растаскивают разделившиеся хромосомы к разным полюсам клетки. Таким образом, возле каждого полюса образуется полный набор хромосом, абсолютно идентичный набору материнской клетки.

Телофаза. На этой стадии происходят процессы, обратные тем, которые происходили в профазе. Хромосомы деспирализуются и становятся такими же, как они были в профазе. Образуется ядерная оболочка, в ядре появляются ядрышки, веретено деления исчезает.

После деления ядра начинается разделение цитоплазмы клетки. Усиленное турбулентное движение цитоплазмы распределяет органоиды более или менее равномерно по двум вновь образовавшимся клеткам. После этого в животной клетке

образуется перетяжка, которая, постепенно углубляясь, разделяет клетку надвое. В растительной клетке существует плотная клеточная стенка, поэтому образование такой перетяжки невозможно. Разделение цитоплазмы растительной клетки происходит другим способом (рис. 67).

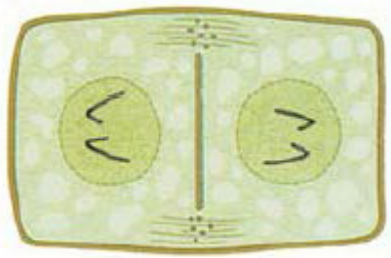


Рис. 67. Деление цитоплазмы растительной клетки

Проверьте свои знания

1. На какой стадии происходит удвоение ДНК? Каково биологическое значение этого процесса?
2. Какие процессы происходят во время профазы?
3. В чём разница между хроматидами и хромосомами?
4. Чем различается митотическое деление в растительной и животной клетках?

Задания

1. Обсудите в классе и сформулируйте, каково биологическое значение митоза.
2. Составьте и заполните в тетради таблицу «Фазы митоза».

§ 26 Размножение организмов

В основе всего процесса образования вокруг Земли оболочки биосферы лежит типично жизненный механизм самовоспроизведения. Всякая клетка в определённый момент делится… и порождает новую, схожую с ней клетку. Был только один центр, теперь их стало два. Все последующие движения жизни вытекают из этого элементарного и мощного феномена.

Пьер Тейяр де Шарден

Способность к размножению является одним из основных свойств живой материи. *Размножение,* т. е. воспроизведение себе подобных, обеспечивает непрерывность и преемственность жизни. В процессе размножения происходит точное воспроизведение и передача генетической информации от родительского поколения следующему, дочернему, что обеспечивает существование вида на протяжении длительного времени, несмотря на гибель отдельных особей. Благодаря размножению жизнь в целом остаётся бессмертной, несмотря на смертность каждого отдельного организма.

В основе размножения лежит способность клетки к делению, а передача генетической информации обеспечивает материальную преемственность поколений любого вида. Для того чтобы особь смогла воспроизводить себе подобных, т. е. стать способной к размножению, она должна вырасти и достичь определённой стадии развития. Не все организмы доживают до репродуктивного периода и не все оставляют потомство, поэтому, чтобы поддержать существование вида, каждое поколение должно производить потомков больше, чем было родителей. Свойства живых организмов – рост, развитие и размножение – неразрывно связаны друг с другом.

Все разнообразные формы размножения можно объединить в два основных типа – *бесполое* и *половое.*

Бесполое размножение

Бесполое размножение происходит без образования специализированных половых клеток *(гамет),* и для его осуществления необходим только один организм. Новая особь развивается из одной или нескольких соматических (неполовых) клеток материнского организма и является её абсолютной копией. Генетически однородное потомство, происходящее от одной родительской особи, называется *клоном.*

Бесполое размножение является наиболее древней формой размножения, поэтому особенно широко оно распространено у одноклеточных организмов, но встречается и среди многоклеточных.

Существует несколько типов бесполого размножения.

Деление. Прокариотические организмы (бактерии и синезелёные водоросли) размножаются путём простого деления, которому предшествует удвоение единственной кольцевой молекулы ДНК.

Митотическим делением на две и более клеток размножаются простейшие (амёбы, инфузории, жгутиковые) и одноклеточные зелёные водоросли (рис. 68).

Спорообразование – тип размножения, характерный в основном для растений и многих грибов. Специализированные клетки – споры могут образовываться в специальных органах – спорангиях (как это происходит у растений) или открыто, на поверхности (как, например, у некоторых плесневых грибов).

Вегетативное размножение – это тип бесполого размножения, при котором дочерний организм развивается из группы родительских клеток.

Широко распространено вегетативное размножение у растений.

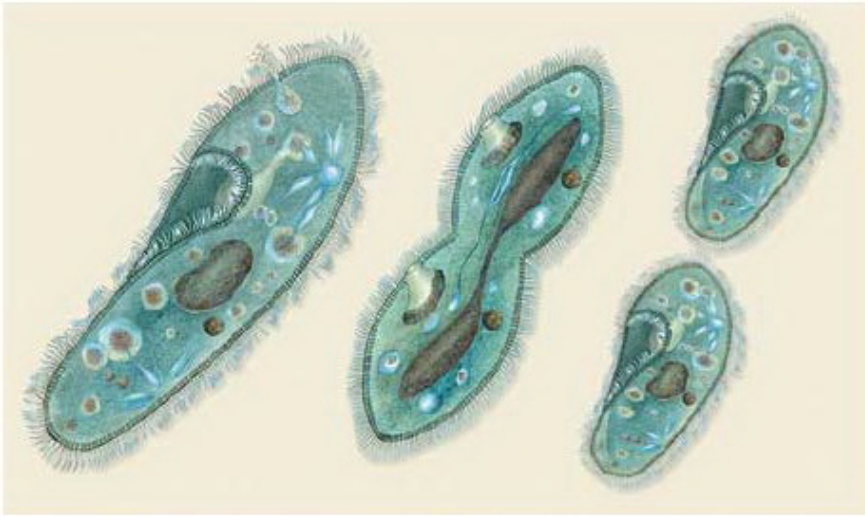


Рис. 68. Деление инфузории туфельки

В естественных природных условиях оно, как правило, происходит *с помощью специализированных частей тела растения* (луковиц, корневищ, усов, клубней, корнеклубней) (рис. 69).

Вегетативное размножение у животных осуществляется двумя основными способами – фрагментацией и почкованием.

Фрагментация – это разделение тела на две и более частей, каждая из которых даёт начало новой полноценной особи. Этот процесс основан на способности к регенерации. Таким способом могут размножаться кольчатые и плоские черви, иглокожие и кишечнополостные.

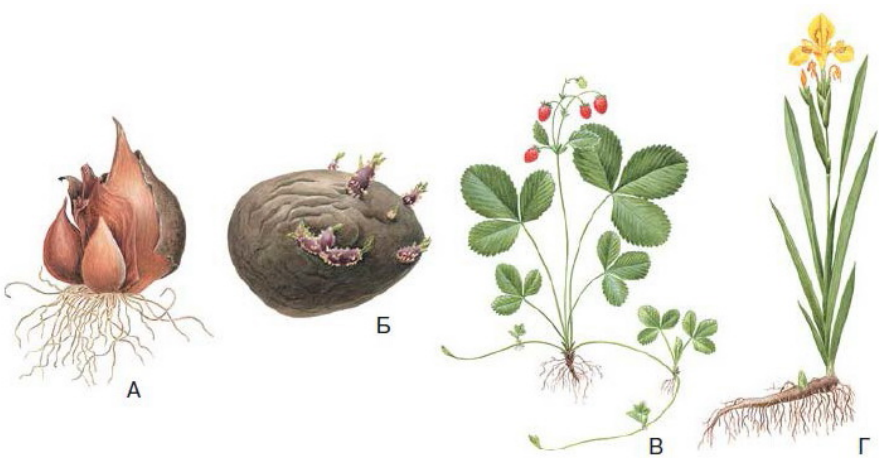


Рис. 69. Органы вегетативного размножения растений: А – луковица; Б – клубень; В – усы; Г – корневище

Почкование – это образование на теле материнской особи группы клеток – почки, из которой развивается новая особь. В течение некоторого времени дочерняя особь развивается как часть материнского организма, а затем или отделяется от него и переходит к самостоятельному существованию (пресноводный полип гидра) (рис. 70), или, продолжая расти, образует собственные почки, формируя колонию (коралловые полипы). Встречается почкование и у одноклеточных – дрожжевых грибов.

Рис. 70. Почкование гидры

Половое размножение

В отличие от бесполого, при половом размножении образование дочернего организма происходит при участии половых клеток – *гамет.* В большинстве случаев новое поколение возникает в результате слияния двух специализированных половых клеток различных организмов.

Гаметы, дающие начало дочернему организму, имеют половинный (гаплоидный) набор хромосом данного вида и

образуются в результате особого процесса – *мейоза* (см. ниже). Как правило, гаметы бывают двух типов – мужские (сперматозоиды) и женские (яйцеклетки), и формируются они в специальных органах – половых железах. Развитие яйцеклеток называют *овогенезом,* а сперматозоидов – *сперматогенезом.*

При оплодотворении происходит восстановление диплоидного набора. В каждой паре гомологичных хромосом одна хромосома происходит от отца, а вторая – от матери. Таким образом, новый организм, возникающий в результате слияния гамет, получает наследственную информацию от обоих родителей: 50 % от матери и 50 % от отца. Будучи похожим на них, он тем не менее обладает собственной уникальной комбинацией генетического материала, которая может оказаться очень удачной для выживания в меняющихся условиях окружающей среды.

Виды, у которых есть и мужские, и женские особи, называются *раздельнополыми;* к ним относится большинство животных. Виды, у которых одна и та же особь способна формировать и мужские, и женские гаметы, называют *двуполыми* или *гермафродитными.*

Возникшая в процессе эволюции раздельнополость имела явные преимущества. Появилась возможность объединять генетическую информацию разных особей, формируя новые сочетания и увеличивая генетическое разнообразие вида, что способствовало его приспособлению в изменяющихся условиях обитания. Кроме того, это позволило распределить функции между особями разного пола. У большинства организмов появился *половой диморфизм* – внешние отличия между мужскими и женскими особями.

Образование половых клеток. Развитие половых клеток подразделяют на несколько стадий: размножение, рост, созревание, а в процессе сперматогенеза выделяют ещё и стадию формирования (рис. 71).

На *стадии размножения* клетки, формирующие стенки половых желёз, активно делятся митозом, образуя незрелые половые клетки. Эта стадия у мужчин начинается с наступлением половой зрелости и продолжается почти всю жизнь. У женщин образование первичных половых клеток начинается ещё в эмбриональном периоде, т. е. общее количество яйцеклеток, которые у женщины будут созревать в течение её репродуктивного периода, определяется уже на ранней стадии развития женского организма. На стадии размножения первичные половые клетки, как и все остальные клетки тела, диплоидны.

На *стадии роста,* которая гораздо лучше выражена в

овогенезе, происходит увеличение цитоплазмы клеток, накопление необходимых веществ и редупликация ДНК (удвоение хромосом).

Третья стадия – это *стадия созревания,* или *мейоз.* Будущие гаметы делятся дважды. Клетки, приступающие к мейозу, содержат диплоидный набор уже удвоенных хромосом.

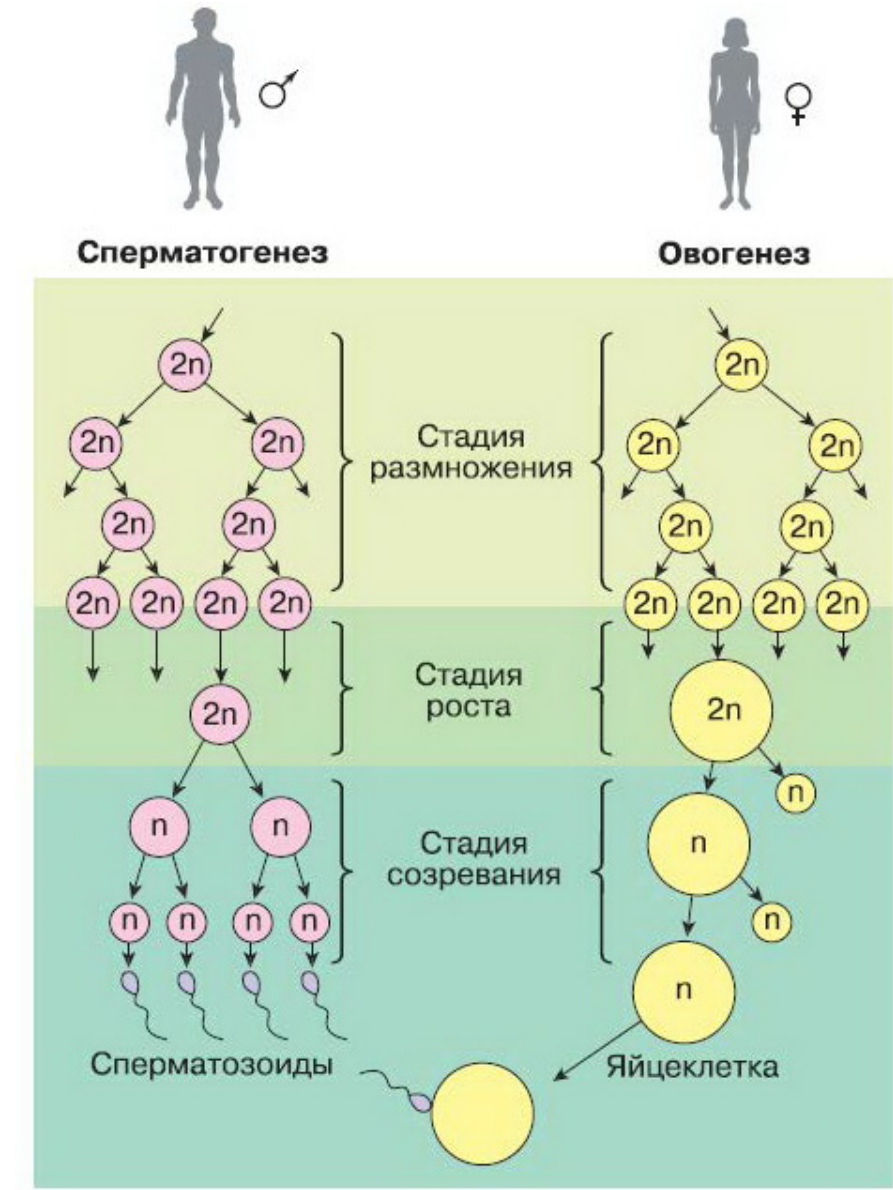


Рис. 71. Гаметогенез у человека

В процессе двух мейотических делений из одной диплоидной

клетки образуется четыре гаплоидных.

Мейоз состоит из двух последовательных делений, которым предшествует однократное удвоение ДНК, осуществлённое на стадии роста. В каждом делении мейоза выделяют четыре фазы, характерные и для митоза (профазу, метафазу, анафазу, телофазу), однако они отличаются некоторыми особенностями (рис. 72).

Профаза первого мейотического деления *(профаза* I) значительно длиннее, чем профаза митоза. В это время удвоенные хромосомы, каждая из которых состоит уже из двух сестринских хроматид, спирализуются и приобретают компактные размеры. Затем гомологичные хромосомы располагаются параллельно друг другу, образуя так называемые биваленты, или тетрады, состоящие из двух хромосом или четырёх хроматид. Между гомологичными хромосомами может произойти обмен соответствующими гомологичными участками, что приведёт к перекомбинации наследственной информации и образованию новых сочетаний отцовских и материнских генов в хромосомах будущих гамет. К концу профазы I ядерная оболочка разрушается.

В *метафазе I* гомологичные хромосомы попарно в виде тетрад располагаются в экваториальной плоскости клетки, и к их центромерам присоединяются нити веретена деления.

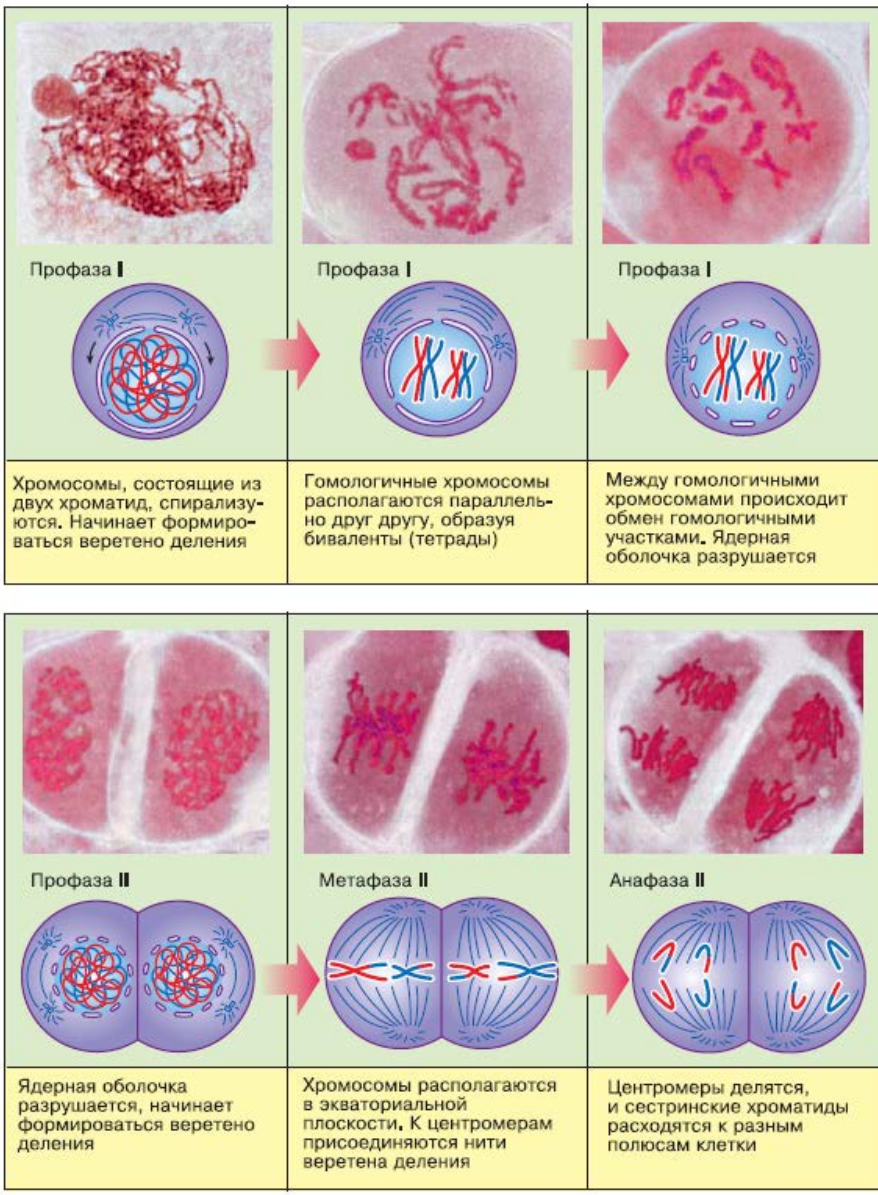
В *анафазе I* гомологичные хромосомы из бивалента (тетрады) расходятся к полюсам. Следовательно, в каждую из двух образующихся клеток попадает только одна из каждой пары гомологичных хромосом – число хромосом уменьшается в два раза, хромосомный набор становится гаплоидным. Однако каждая хромосома при этом всё ещё состоит из двух сестринских хроматид.

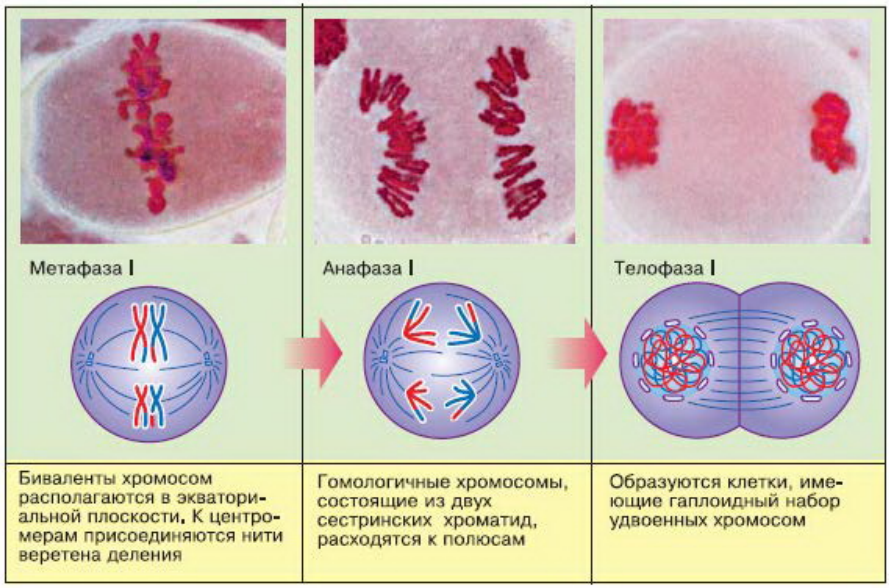
В *телофазе I* образуются клетки, имеющие гаплоидный набор хромосом и удвоенное количество ДНК. Спустя короткий промежуток времени клетки приступают ко второму мейотическому делению, которое протекает как типичный митоз, но отличается тем, что участвующие в нём клетки гаплоидны.

В *профазе II* разрушается ядерная оболочка. В *метафазе II* хромосомы выстраиваются в экваториальной плоскости клетки, нити веретена деления соединяются с центромерами хромосом. В *анафазе II* центромеры, соединяющие сестринские хроматиды, делятся; хроматиды становятся самостоятельными дочерними хромосомами и расходятся к разным полюсам клетки. *Телофаза II* завершает второе деление мейоза.

В результате мейоза из одной исходной диплоидной клетки, содержащей удвоенные молекулы ДНК, образуются четыре

гаплоидные– клетки, каждая хромосома которых состоит из одиночной молекулы ДНК.





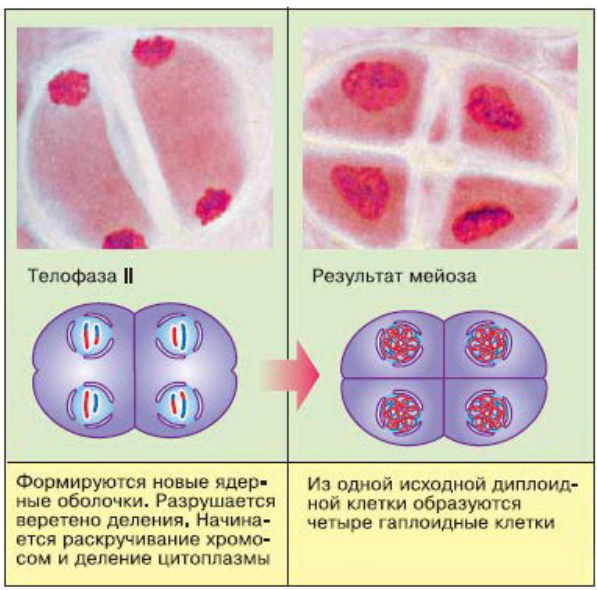


Рис. 72. Фазы мейоза

При сперматогенезе на стадии созревания в результате мейоза образуются четыре одинаковые клетки – предшественницы сперматозоидов, которые на *стадии формирования* приобретают характерный вид зрелого сперматозоида и становятся подвижными.

Мейотические деления в овогенезе характеризуются рядом особенностей. Во-первых, профаза I завершается ещё в эмбриональном периоде, а остальные события мейоза

продолжаются только после полового созревания женщины. Каждый месяц в яичниках женщины продолжает развитие одна из остановившихся в своём делении клеток. В результате первого деления мейоза образуется крупная клетка – предшественница яйцеклетки и маленькое, так называемое полярное тельце, которые вступают во второе деление мейоза. На стадии метафазы II предшественница яйцеклетки овулирует, т. е. выходит из яичника в брюшную полость, откуда попадает в яйцевод. Если происходит оплодотворение, второе мейотическое деление завершается – образуются зрелая яйцеклетка и второе полярное тельце. Если слияния со сперматозоидом не происходит, не закончившая деление клетка погибает и выводится из организма.

Полярные тельца служат для удаления избытка генетического материала и перераспределения питательных веществ в пользу яйцеклетки. Спустя некоторое время после деления они погибают.

Проверьте свои знания

1. Докажите, что размножение – одно из важнейших свойств живой природы.
2. Какие основные способы размножения вам известны?
3. Что такое бесполое размножение? Какой процесс лежит в его основе?
4. Перечислите формы бесполого размножения; приведите примеры.
5. Возможно ли появление генетически разнородного потомства при бесполом размножении? Свой ответ обоснуйте.
6. Сравните половое и бесполое размножение. В чём преимущества и недостатки того и другого способа размножения?
7. Сформулируйте определение понятия «половое размножение».
8. Какие периоды выделяют в процессе развития половых клеток? Сравните, как протекает период созревания (мейоз) в процессе сперматогенеза и овогенеза.

Задания

1. Вспомните из материала предыдущих курсов биологии, встречается ли фрагментация в растительном царстве. Если да, то приведите примеры подобного способа размножения.
2. У некоторых простейших (малярийный плазмодий)

встречается особый тип размножения – так называемая шизогония. Ядро материнской особи делится несколько раз подряд без деления цитоплазмы, а затем образовавшаяся многоядерная клетка распадается на множество одноядерных клеток. К какому типу размножения относится шизогония? Докажите своё мнение.

3. Приведите примеры гермафродитных организмов. Среди каких организмов распространён гермафродитизм? Выскажите предположение, с чем это связано.

4. Выберите критерии для сравнения, составьте и заполните в тетради таблицу «Митоз и мейоз: сходство и различия».

Ваша будущая профессия

1. Докажите, что знания и умения, полученные при изучении этой главы, пригодятся вам в будущем.

2. Какой материал данной главы представляет наибольшую важность для специалиста в области микробиологии; вирусологии; цитологии; молекулярной биологии? Может ли в современной науке специалист-вирусолог не знать, например, особенностей строения бактериальной клетки? Докажите, что базовые знания о процессах, происходящих на молекулярном и клеточном уровнях организации живого, необходимы не только биологу, но и специалистам в других областях естественных наук.

Строение и деятельность живых систем. Организмы

§ 27 Система живой природы. Грибы

Под берёзой, под берёзой
Подберёзовика нет.
Под осиной, под осиной
Подосиновик один.
На полянке три поганки,
На опушке три волнушки…

Попадись ты мне, груздь,
Разгони мою грусть!..
Да, видать, не судьба —
Не попалось ни гриба…

Юлий Ким

Систематика

Мир живых организмов невероятно разнообразен. Сюда относятся амёба и бабочка, акула и удав, берёза и подберёзовик, слон и даже человек. Столь же необъятны знания о жизнедеятельности и строении всего живого, накопленные человечеством за века натуралистических и научных исследований. В настоящее время известно и описано более 40 тыс. видов грибов, 100–350 тыс. видов растений и несколько миллионов видов животных. При этом каждый год открывают новые виды, среди которых есть как ныне живущие, так и вымершие. Для того чтобы разобраться в этом бесконечном многообразии, существует раздел науки, называемый *систематикой.*

Первым исследователем природы, попытавшимся привести в систему все природные объекты, был, как мы знаем, Аристотель. Он создал «лестницу существ», или «лестницу природы», в которой каждый природный объект находился на своей ступени (рис. 73). Снизу располагались минералы, затем растения, животные и, наконец, человек. Таким образом, неживые объекты также включались в систему Аристотеля.

В основе классификации живых организмов Аристотеля и его последователей лежит понятие вида. Главным критерием вида учёные считали способность самца и самки одного вида производить плодовитое потомство.

Первым исследователем, создавшим развёрнутую единую классификацию растительного и животного мира, был выдающийся шведский естествоиспытатель и врач Карл Линней (1707–1778) (рис. 74). Разработав короткие и чёткие определения признаков, учёный описал около 10 тыс. видов растений и более 4 тыс. видов животных. В возрасте 28 лет К. Линней опубликовал свою самую известную работу «Система природы», в которой описал основные принципы систематики – науки о классификации живых организмов. В основу своей классификации он положил принцип иерархичности (соподчинённости) таксонов (от греч. «таксис» – расположение в порядке), когда несколько мелких таксонов (видов) объединяются в более крупный род, роды объединяются в отряды и т. д. (рис. 75).

Рис. 73. «Лестница существ» Аристотеля

Самой крупной единицей в системе Линнея был класс. С развитием биологии в систему таксонов были добавлены дополнительные категории, но принципы систематики, заложенные Линнеем, остались неизменными до нашего времени.

Рис. 74. К. Линней

Следует отметить, что систематика, предложенная Линнеем, была *искусственной,* поскольку не учитывала генетическое или эволюционное родство, о которых наука в то время не имела представления. Распределяя организмы по таксономическим группам, Линней учитывал ограниченное число признаков. Например, все животные были разделены на 6 классов по строению дыхательной и кровеносной систем: черви, насекомые, рыбы, гады, птицы и звери. Внутри классов Линней основывался на более мелких признаках, например, птиц он объединял по клюву, а зверей – по строению зубов. Основным признаком у растений Линней выбрал количество тычинок. Это привело к тому, что в одну группу попадали организмы, далеко отстоящие друг от друга по степени родства (см. рис. 75). Например, в один из 24 классов растений попали вместе сирень и ива, в другой – барбарис и тюльпан. Осознавая искусственность своей системы природы, Линней писал: «Искусственная система служит только до тех пор, пока не создана естественная».

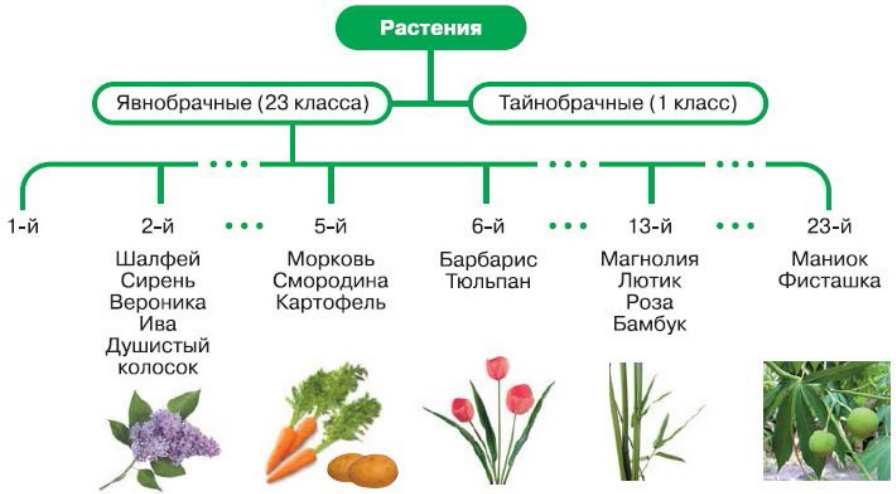


Рис. 75. Систематика растений К. Линнея

Для обозначения видов учёный ввёл бинарную (двойную) номенклатуру названий растений и животных. В эпоху Великих географических открытий из самых различных уголков мира привозили множество новых видов животных и растений. Часто одним и тем же видам давали различные названия, так что невозможно было определить, о каком именно животном или растении идёт речь. Для того чтобы избежать этой путаницы, Линней предложил определять каждый вид в научной литературе с помощью двух латинских слов, первое из которых пишется с заглавной буквы и обозначает род, а второе, пишущееся со строчной буквы, – вид. После названия часто добавляют фамилию исследователя, впервые описавшего этот вид (фамилия Линнея обозначается одной буквой L.). Так, волка можно называть по-разному на разных языках, можно даже назвать серым разбойником, но в научной литературе он всегда будет Canis lupus, а принадлежащий к тому же роду шакал – Canis aureus. Существует широко известный род вороновых птиц. Все его представители имеют одинаковое родовое название Corvus, а различные принадлежащие к нему виды обладают, кроме того, своим видовым латинским названием: ворон – Corvus corax, серая ворона – Corvus cornix, а галка – Corvus monedula. Вы можете писать статью или книгу на своём родном языке, но после упоминания животного или растения обязаны вставить его латинское название, и тогда любой читатель или переводчик сможет вас понять.

Современная систематика во многом построена на принципах, предложенных Линнеем, но основывается она не только на внешнем сходстве видов, а главное учитывает их

эволюционное происхождение, т. е. является *естественной.*

Перечислим современные систематические единицы (таксоны) в порядке их возрастания: *вид – род – семейство – отряд* (для животных), или *порядок* (для растений и грибов) – *класс – тип* (для животных), или *отдел* (для растений и грибов) – *царство.* Иногда этих разделов не хватает и приходится пользоваться приставками *под–* или *над-*. Например, надкласс, подотряд, подсемейство, подвид и др.

Все живые организмы принято делить на два надцарства – прокариоты и эукариоты. О различиях между этими группами вы уже знаете. Некоторые исследователи относят к надцарству прокариот единственное царство – Дробянки, в то время как другие делят его на два царства – Бактерии и Археи.

К надцарству эукариот относят три царства – Грибы, Растения и Животные. Между представителями этих царств существуют принципиальные различия. Рассмотрим вначале строение и жизнедеятельность грибов.

Грибы

Это царство является промежуточным между растениями и животными. С одной стороны, они, как и животные, являются гетеротрофными организмами и содержат в качестве запасающего углевода гликоген.

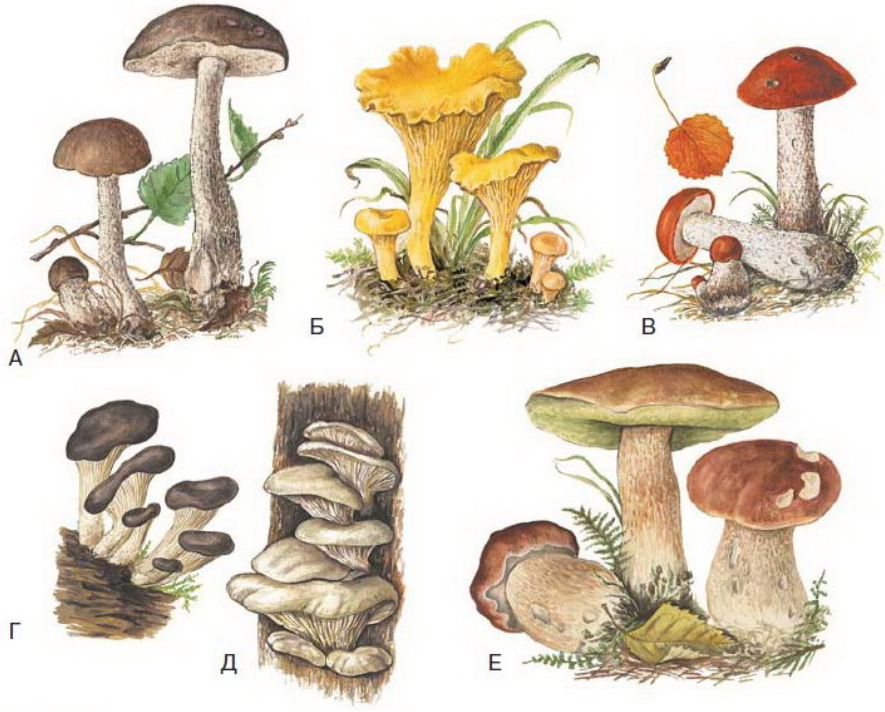


Рис. 76. Съедобные грибы: А – подберёзовик; Б – лисичка; В – подосиновик; Г и Д – вёшенки; Е – белый гриб

С другой стороны, они, как и растения, имеют клеточную стенку, состоящую, правда, не из клетчатки, а из хитина, и питаются путём всасывания веществ из окружающей среды, не имея специального ротового отверстия. Размножаются грибы с помощью спор, которые созревают в специальных коробочках, кисточках или на других специальных образованиях. Грибы могут быть одноклеточными и многоклеточными. К первым относятся, например, дрожжи, а ко вторым – большинство известных нам грибов, включая съедобные (рис. 76) или ядовитые шляпочные грибы, различные виды плесени, и грибы, паразитирующие на растениях, где они образуют белый, жёлтый или бурый налёт на стеблях и листьях.

Тело гриба называют *мицелием* или *грибницей.* Оно состоит из множества переплетённых нитей – гифов. Клетки гиф непрерывно делятся, обеспечивая их рост в длину. Гифы одних грибов состоят из множества клеток, а у других представляют собой длинную нить с большим количеством ядер, но без перегородок между ними, т. е., по сути, являются многоядерным одноклеточным организмом.

Царство грибов делят на несколько отделов. Наиболее развитый из них – отдел базидиальных грибов, к которому

относится большинство шляпочных грибов, как съедобных, так и ядовитых. Мицелий такого гриба расположен под землёй, а в период размножения плотные сплетения гиф образуют надземные *плодовые тела,* которые в быту обычно и называют грибами. Обычно плодовое тело состоит из ножки и шляпки. На нижней стороне шляпки находится трубчатый или пластинчатый слой, где в специальных образованиях – базидиях – созревают споры. Споры могут разноситься ветром или водой и в благоприятных условиях давать начало новой грибнице.

Грибы играют огромную роль в природе и человеческой жизни. Они разлагают всевозможные органические вещества и повышают плодородие почв. Иногда грибы вступают во взаимовыгодные отношения с другими организмами. Например, многие грибы могут расти только в лесах, вырастить их в питомниках невозможно, потому что для нормального развития им необходима постоянная связь с корнями деревьев – *микориза.*

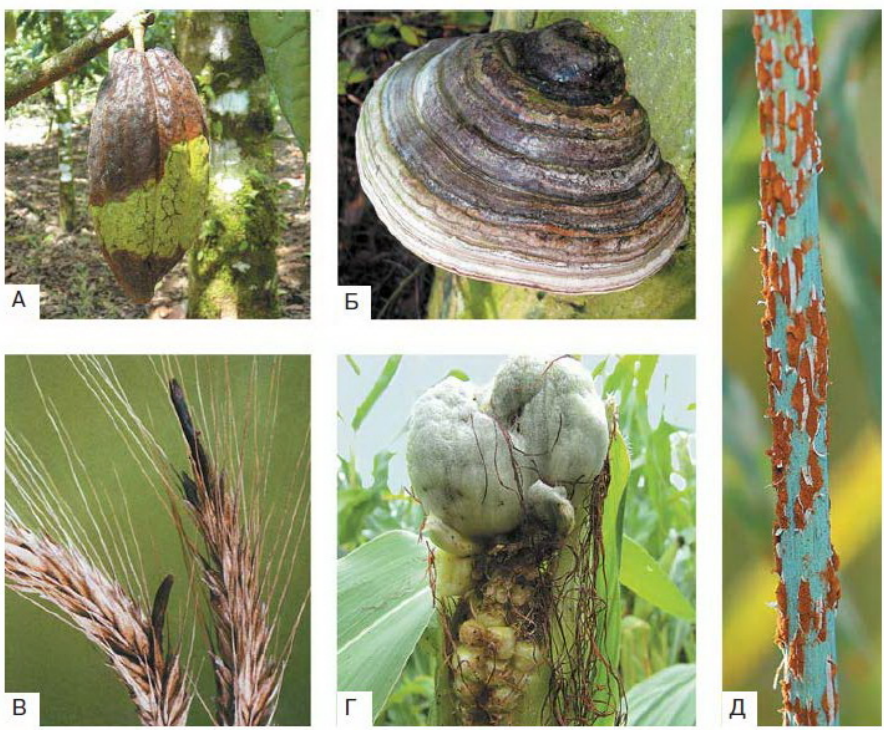


Рис. 77. Паразитические грибы: А – фитофтора на плодах какао; Б – трутовик; В – спорынья; Г – пузырчатая головня кукурузы; Д – ржавчина

Комплексы грибов и водорослей образуют самостоятельные оригинальные организмы – лишайники, которые играют

почвообразующую роль и служат пищей для многих животных. Обитая в желудке некоторых травоядных животных, грибы помогают этим животным переваривать растительную пищу. Человек использует грибы в пищу, получает из них антибиотики и другие лекарственные вещества.

Рис. 78. Стригущий лишай

Однако грибы могут приносить и значительный вред, будучи паразитами растений, животных и человека. Опасным паразитом растений является фитофтора, разрушающая корневую систему у картофеля и томатов. Серьёзный вред выращиванию злаков наносят спорынья, головня и стеблевая ржавчина (рис. 77). Для лесного хозяйства опасны паразитические трутовики, гифы которых внедряются глубоко в ствол дерева. Грибы вызывают кожные заболевания у животных и человека (рис. 78), а иногда приводят к заболеванию внутренних органов. Случаются также и отравления грибами. Одним из самых опасных ядовитых грибов является бледная поганка, содержащая сильнейшее ядовитое вещество – фаллоидин, смерть от которого происходит в 99 % случаев.

Проверьте свои знания

1. Чем систематика Линнея отличается от современной биологической систематики?
2. Как строится двойная номенклатура названий растений и животных?
3. Сравните грибы с растениями и животными. В чём их

сходство и отличия?

4. Как устроено плодовое тело гриба?

5. Как называется наука, изучающая грибы? Объясните происхождение этого названия.

Задания

1. Используя дополнительные источники информации, подготовьте сообщение или презентацию о значении грибов в природе и жизни человека.

2. Выясните, какие грибы встречаются в вашем регионе. Подготовьте информационный стенд «Съедобные и ядовитые грибы». Выступите с сообщением перед учащимися младших классов. Расскажите о правилах сбора и использования грибов.

§ 28 Систематика и жизнедеятельность растений

Розы – яркие цыганки,
Лучше, может быть, немного,
Но и розы и поганки
Из садов того же бога…
Подожди, увянут розы,
Снег засыплет садик тощий,
И окно заткнут морозы

Светлой пальмовою рощей…
И, склонившись к иммортелям,
Ты возьмёшь их в горсть из вазы,
Вспомнишь солнце, вспомнишь ели,
Лес и летние проказы.

Саша Чёрный

Растения – это автотрофные организмы с очень небольшой подвижностью, в основном прикреплённые к грунту. Необходимые им органические вещества растения синтезируют сами, используя энергию света, а неорганические – всасывают из грунта или окружающей их воды.

Водоросли

Все растения подразделяют на две группы – низшие[12] и высшие. Низшие растения – это водоросли. Не следует думать, что водоросли – это все растения, живущие в воде, в частности те, которые содержат в аквариумах. В пресных водах чаще всего растут как раз высшие растения. А моря и океаны населяют исключительно водоросли, так как высшие растения в морской воде не обитают. Некоторые водоросли растут и в пресной воде, а также на суше в сырых местах, где они образуют зеленоватый

налёт. Пресноводные водоросли чаще всего относят к отделу *зелёных,* в то время как в морях преобладают представители отделов *красных* и *бурых* водорослей (рис. 79).

Водоросли отличаются от высших растений целым рядом признаков. Во-первых, они не имеют специализированных органов, их тело представляет собой слоевище, или таллом, все части которого имеют одинаковую организацию.

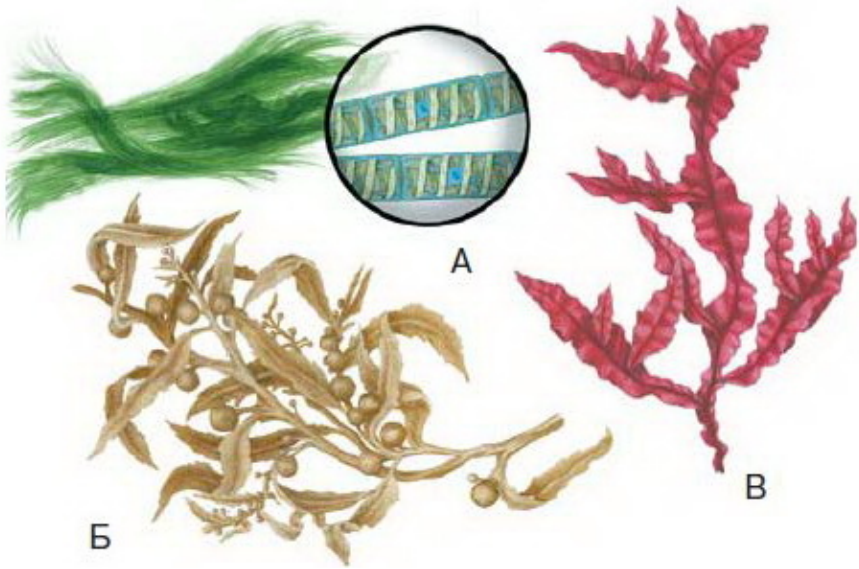


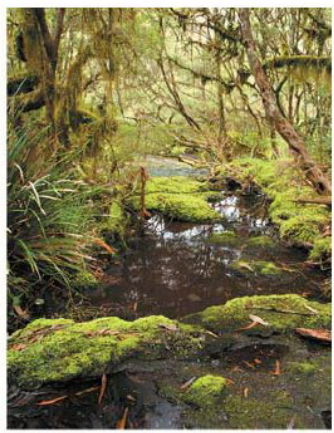
Рис. 79. Водоросли: А – спирогира; Б – саргассум; В – филлофор

Иногда водоросль может выглядеть как высшее растение, в нём можно различить подобие листьев, стеблей и корней, но внутреннее строение этих частей везде совершенно одинаково. Во-вторых, водоросли не имеют проводящей системы, по которой движутся органические вещества, вода и минеральные соли. В-третьих, низшие растения не обладают явно выраженными циклами размножения, присущими всем высшим растениям. В природе водоросли – это корм для морских обитателей и главный источник кислорода во всех морях и океанах. Человек часто, особенно в странах Дальнего Востока, употребляет водоросли в пищу. Их используют в химической промышленности, так как они содержат большое количество иода, брома, натрия. Из красных и бурых водорослей добывают агар-агар, который используют в пищевой промышленности для приготовления желе, мармелада, пастилы и других продуктов, а в микробиологических лабораториях – для приготовления питательных сред. Многие водоросли в прибрежных районах используют в качестве

удобрения и корма для скота.

Отдел Моховидные

Высшие растения, в отличие от водорослей, имеют специализированные органы, проводящую систему и обладают строгим циклом размножения со сменой поколений.



Самым примитивным отделом высших растений являются Мхи (Моховидные), у которых ещё нет проводящей системы и плохо дифференцированы органы, но цикл размножения строго соблюдается (рис. 80). Мхи обитают обычно в сырых лесах и на болотах, часто способствуя заболачиванию местности. Представитель белых мхов – сфагнум – является главным торфообразователем. Обычно сфагнум за сезон вырастает на несколько сантиметров в высоту и столько же его погибает под почвой, где он уплотняется без доступа кислорода и образует около 1 мм торфа ежегодно. За тысячелетия могут образовываться многометровые залежи торфяников. Поскольку торф содержит препятствующие гниению консерванты, в нём хорошо сохраняются предметы древнего быта, что представляет

большую ценность для археологов. Кроме того, торф является ценным сырьём для химической промышленности, а также используется в качестве топлива и удобрения.

Высшие споровые растения

Следующие три отдела высших растений – это *Плауновидные, Хвощевидные* и *Папоротниковидные* (рис. 81). Как выглядит папоротник, знают все.

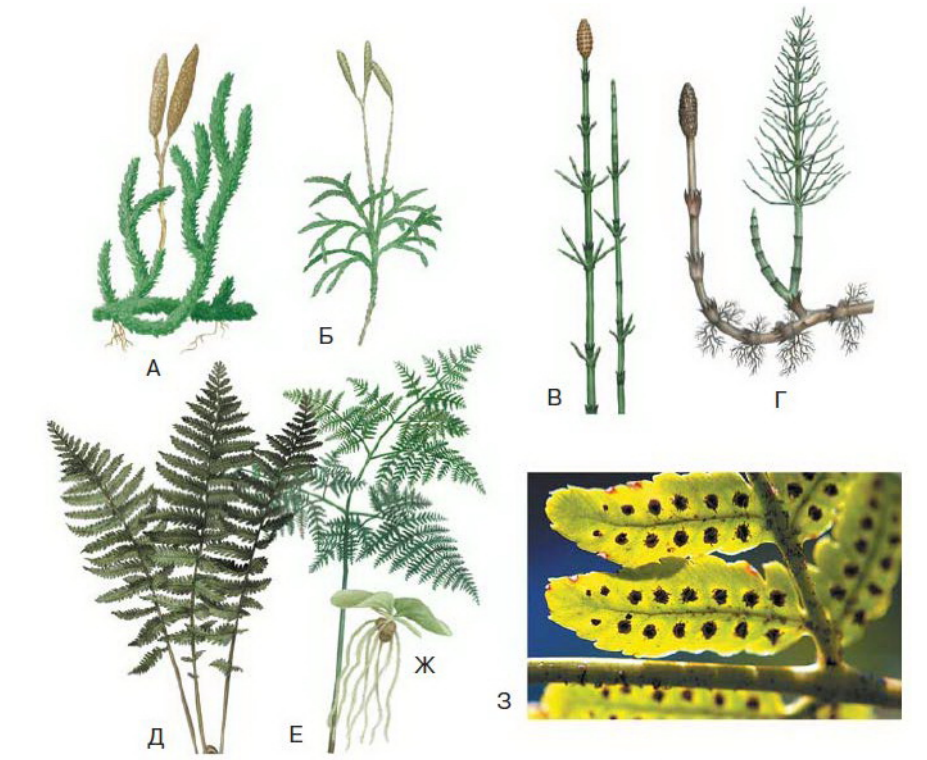


Рис. 81. Плауны (А, Б), хвощи (В, Г), папоротники (Д – З)

Большинство папоротников состоят из корневища и больших перистых листьев, которые носят специальное название – вайи. Менее заметны хвощи, имеющие вид небольшой, около 20 см в высоту, ёлочки, и плауны – стелящиеся травянистые растения, растущие обычно на лесных вырубках. Современные представители этих отделов имеют совсем небольшие размеры, но их предки, жившие на Земле около 300 млн лет назад, были многометровыми деревьями. Именно они по мере отмирания образовали запасы каменного угля. Размножаются эти растения спорами, которые образуются в огромных количествах. Так, на

одном растении папоротника может за лето созревать до миллиарда спор.

Отдел Голосеменные

Крупный эволюционный прорыв произошёл на Земле, когда растения, размножающиеся спорами, в основном сменились растениями, размножающимися с помощью семян. Первый из отделов семенных растений носит название Голосеменные, так как семена у них созревают открыто без оболочек в виде цветов или плодов. Большинство современных голосеменных растений относятся к классу *Хвойные* и представлены деревьями или кустарниками. Для размножения они образуют шишки (стробилы), на чешуйках которых созревают семена. Размножение с помощью семян имеет большое преимущество по сравнению с размножением спорами. Семя представляет собой хорошо сформированный, готовый к развитию организм, содержащий зачатки будущих органов и запас питательных веществ. Семя покрыто плотной семенной кожурой, предохраняющей от вредных воздействий внешней среды. Таким образом, семенное размножение можно рассматривать как начальную форму заботы о потомстве. Так как семена имеют гораздо больше шансов выжить и прорасти по сравнению со спорами, их на каждом растении образуется значительно меньше, чем последних. К классу хвойных относятся такие деревья, как сосна, ель, пихта, лиственница, кипарис, тис (рис. 82).

Рис. 82. Голосеменные

К нему же принадлежит самое высокое и самое долгоживущее в мире американское дерево секвойя, высота которого достигает 100 м, диаметр – 10 м, а продолжительность жизни доходит до 4 тыс. лет. Среди голосеменных растений встречаются и кустарники, например можжевельник.

Отдел Покрытосеменные

Наиболее развитым отделом растительных организмов является отдел Покрытосеменные или Цветковые, представленный травами, кустарниками и деревьями (рис. 83). Это самый распространённый отдел растений на современной Земле, он насчитывает около 250 тыс. видов, в то время как голосеменных всего 600 видов. Развитие семян у цветковых растений начинается внутри цветка, а заканчивается внутри плода, который образуется из некоторых частей цветка. Цветки и плоды, с одной стороны, являются защитой для семян, а с другой – используются для привлечения животных, которые переносят пыльцу и распространяют семена.

Цветковые растения разделяют на два класса – *Двудольные* и *Однодольные.* Эти названия были даны растениям по числу семядолей (зародышевых листков) в их семени. Однако между этими двумя классами существует и много других различий, так

что часто нетрудно определить, к какому классу относится растение, по его внешнему виду. Так, расположение жилок на листе двудольных почти всегда сетчатое, а у однодольных оно дуговое или параллельное (сравните, например, розу и ландыш).

Рис. 83. Представители некоторых семейств покрытосеменных растений

Большинство однодольных представляют собой травянистые растения (исключением являются пальмы), в то время как двудольные могут быть и деревьями, и кустарниками, и травами. В цветках двудольных растений обычно можно чётко разделить небольшую зелёную чашечку и яркий крупный венчик, в то время как у однодольных такого разделения обычно нет. Существуют и другие различия между этими классами.

Оба класса растений делятся на порядки, а те – на семейства. В классе двудольных широко известно семейство бобовых (мотыльковых), к которому принадлежат растения, употребляемые в пищу (горох, фасоль, соя, арахис), кормовые растения (клевер, люцерна) и декоративные (акация, душистый горошек). К двудольным относятся семейства паслёновых (картофель, томаты, баклажаны), розоцветных (яблони, груши, сливы, малина и много других плодовых растений), сложноцветных (подсолнух, астра, василёк, ромашка) и многие другие. К классу однодольных принадлежит семейство злаков (пшеница, рожь, кукуруза, ячмень, овёс и др.), семейство лилейных (лук, чеснок, тюльпан, ландыш) и многие другие

семейства, имеющие как декоративную, так и хозяйственную ценность.

Цветковые растения играют исключительную роль в природе и жизни человека: они служат пищей для большинства животных и используются людьми в пищевой, текстильной, химической, строительной и других видах промышленности.

Проверьте свои знания

1. Чем различаются низшие и высшие растения? Как вы думаете, почему термин «низшие растения» сейчас уходит из употребления?
2. Какой отдел высших растений является самым примитивным из высших растений и какую роль он играет в хозяйственной деятельности человека?
3. Сравните размножение семенами и спорами. В чём преимущество семенного размножения?
4. Чем различаются однодольные и двудольные растения? Приведите примеры тех и других.

Задания

1. Рассмотрите листья и цветки комнатных растений или растений на книжных иллюстрациях. Определите, к какому классу они относятся.
2. Составьте и заполните в тетради таблицу «Сравнительная характеристика однодольных и двудольных растений», самостоятельно выделив критерии сравнения.
3. Рассмотрите рисунок 82. Определите, какие виды голосеменных изображены на рисунке? Какие из этих растений встречаются в вашей местности?
4. Используя знания, полученные при изучении курса «Биология. Растения», определите, к каким семействам относятся растения, изображённые на рисунке 83.

§ 29 Систематика и особенности строения беспозвоночных животных

Какие бабочки, букашки,
Козявки, мушки, таракашки!
Одни как изумруд, другие как коралл!
Какие крохотны коровки!
Есть, право, менее булавочной головки!

И. А. Крылов. Любопытный

Царство животных делят на два подцарства – Одноклеточные (Простейшие) и Многоклеточные[13]. Животные – это гетеротрофные организмы, которые потребляют пищу через ротовое отверстие, кроме некоторых одноклеточных, питающихся путём эндоцитоза. Для всех животных характерна большая или меньшая подвижность.

Простейшие

Известно более 40 тыс. видов одноклеточных организмов. Среди них амёбы и инфузории, споровики, фораминиферы, радиолярии и многие другие (рис. 84). Простейшие обладают всеми признаками самостоятельных организмов. В настоящее время систематика простейших вызывает много споров, поэтому единого общепринятого её варианта не существует.

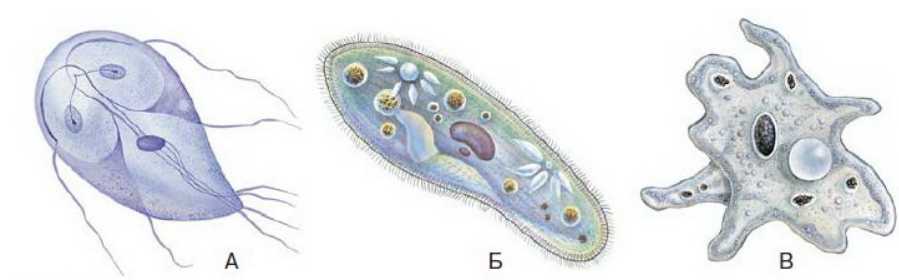


Рис. 84. Простейшие: А – лямблия; Б – инфузория туфелька; В – амёба обыкновенная

Наиболее высокоорганизованными простейшими,

обладающими сложной системой органоидов, являются инфузории. Для них характерно наличие нескольких ядер, часть из которых составляют большие ядра (макронуклеусы), а часть – малые (микронуклеусы). У обычной широко распространённой инфузории туфельки – два ядра: одно большое и одно малое. Большое полиплоидное ядро контролирует синтез белков в клетке, а малое участвует в половом процессе. Инфузория туфелька активно передвигается с помощью ресничек, причём скорость её передвижения доходит до 8 мм/с. В природе инфузории служат основной пищей для мальков рыб, личинок ракообразных, насекомых и других мелких организмов.

Существуют одноклеточные организмы, которые вызывают опасные заболевания человека. К ним относятся малярийный плазмодий – возбудитель малярийной лихорадки; лейшмании и трипаносомы, передающиеся через укусы насекомых (малярийных комаров, москитов и африканской мухи цеце соответственно); дизентерийная амёба, вызывающая амёбиаз – тяжёлое кишечное заболевание.

Губки и кишечнополостные

В процессе эволюции отдельные самостоятельно живущие клетки объединялись в многоклеточные структуры. Вначале это были колонии – объединения равноправных клеток без разделения функций между ними. Затем в таких колониях возникла дифференциация клеток, и появились нервные, покровные, пищеварительные и другие виды клеток. Образовались многоклеточные организмы. Самыми примитивными многоклеточными животными являются представители типа губок, а также животные типа кишечнополостных, к которым принадлежат кораллы, медузы, актинии, а также пресноводная гидра, известная вам из курса зоологии (рис. 85). Тело кишечнополостных представляет собой мешок, состоящий из двух слоёв клеток, внутри которого происходит переваривание пищи. Нервные клетки, расположенные в наружном слое, образуют нервную систему сетчатого типа. Большинство кишечнополостных имеют особые *стрекательные* клетки. Вещества этих клеток представляют большую опасность не только для мелких животных, которыми кишечнополостные питаются, но и для крупных, включая человека. Так, яд медузы, называемой морской осой, по химическому составу близок яду кобры и приводит к смерти человека через несколько минут после контакта с этим животным.

Рис. 85. Мягкие кораллы

Плоские черви

Следующим по сложности строения типом животных являются плоские черви (рис. 86).

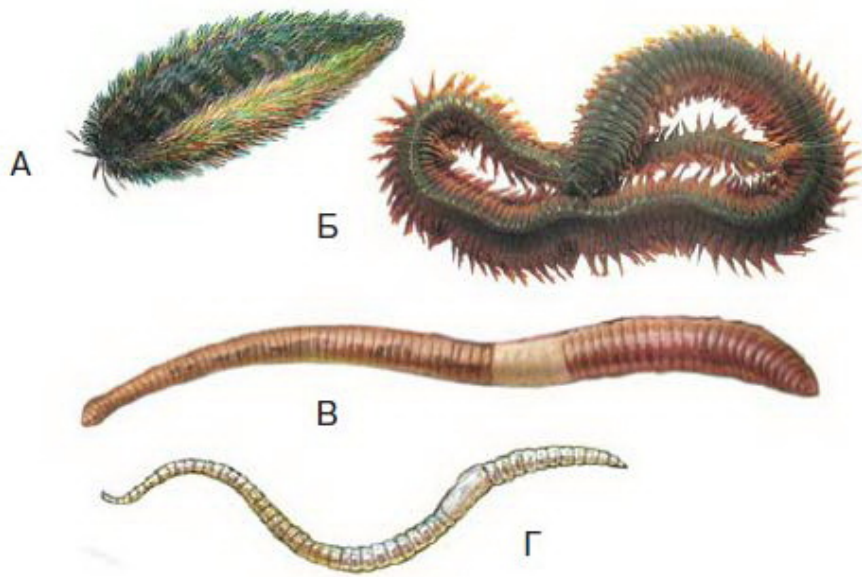


Рис. 86. Черви: А – полихета колючая; Б – нереис; В – дождевой червь; Г – энхитрей беловатый

Их пищеварительная система представляет собой разветвлённый мешок с единственным выходящим наружу отверстием, однако у них уже появляются выделительная система, примитивные органы чувств и более организованная нервная система, состоящая из окологлоточного кольца и отходящих от него нервных стволов. Многие плоские черви свободно живут в окружающей среде, но некоторые являются паразитами животных и человека, например достигающие более десятка метров в длину цепни, которые могут обитать в кишечнике человека.

Круглые черви

Несколько выше на эволюционной лестнице находятся круглые черви (см. рис. 86). У них уже имеется сквозная пищеварительная система, которая начинается ротовым и заканчивается анальным отверстием. Среди животных этого типа тоже много паразитов растений, животных и человека. Одним из самых известных среди них является аскарида – довольно крупный червь (самцы достигают в длину 25 см, а самки – 40 см) с плотной оболочкой. Аскариды ежедневно производят огромное количество яиц, которые выделяются из человека с экскрементами. Все паразитические черви приносят вред человеку, отравляя его продуктами распада органических веществ. Как вы знаете, для того чтобы расщепить, например, глюкозу до воды и углекислого газа, требуется кислород. Так как в кишечнике человека кислорода нет, дыхание у паразитических червей происходит по типу брожения, в результате которого образуются вредные для человека органические кислоты. Самочувствие человека ухудшается, возникают слабость, тошнота, головная боль и т. п. Вызываемые паразитическими червями болезни называют *гельминтозами.*

Кольчатые черви

На следующей ступени эволюционного развития находится значительно более совершенный тип кольчатых червей (см. рис. 86). Их тело как снаружи, так и внутри разделено на отдельные участки – кольца, или сегменты, и многие органы имеют в каждом участке собственное представительство. Эти животные имеют вторичную полость тела.

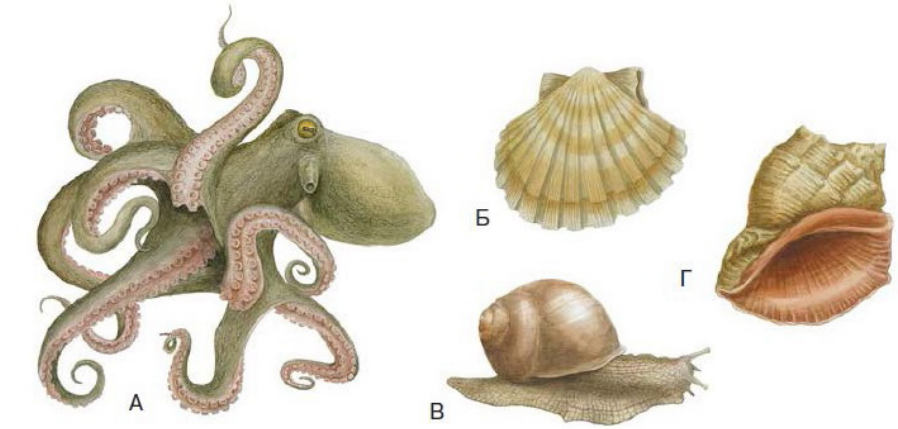


Рис. 87. Моллюски: А – осьминог; Б – гребешок; В – виноградная улитка; Г – рапан

У них впервые появляется система кровообращения, хотя еще нет специальных органов дыхания: кислород поступает в кровь через кожу и по кровеносным сосудам разносится по всему телу. Нервная система кольчатых червей состоит из крупного надглоточного узла («головного мозга»), соединенного с подглоточным узлом, от которого вдоль всего тела тянется брюшная нервная цепочка. Органы выделения – *метанефридии* по принципу работы очень похожи на почки высших животных. Самым известным представителем этого типа является знакомый всем дождевой червь, хотя существуют и более сложно устроенные морские кольчатые черви со сложным поведением и хорошо развитыми органами чувств.

Моллюски

По существующим в зоологии представлениям от кольчатых червей произошли другие основные типы животных. Одним из этих типов являются ***моллюски*** – животные с мягким телом и мантией – прилегающей к телу кожной складкой. Промежуток между телом и мантией называют мантийной полостью. У некоторых представителей этого типа в мантийную полость открываются отверстия пищеварительной, выделительной и половой систем. Большинство моллюсков имеют раковину, которая образуется железами мантии. Из блестящего перламутрового слоя раковин моллюсков часто изготавливают пуговицы и различные украшения. Если же под мантией окажется песчинка или другой мелкий предмет, то он начинает

обволакиваться слоем перламутра, в результате чего образуется жемчужина. Органами дыхания у моллюсков могут служить как жабры, так и легкие, образующиеся из части мантийной полости. Нервная система моллюсков состоит из разбросанных по туловищу узлов, связанных нервными стволами. К типу моллюсков относят классы *Двустворчатые* (беззубка, мидия, устрица), *Брюхоногие* (прудовик, катушка, виноградная улитка), а также самый развитый класс моллюсков – *Головоногие,* к которому принадлежат осьминоги, кальмары и каракатицы (рис. 87). У этих животных раковина редуцирована. Головоногие являются ловкими хищниками, способными к быстрому передвижению. Нервная система головоногих самая высокоразвитая среди моллюсков. Крупное окологлоточное нервное сплетение («головной мозг») заключено в хрящевую защитную капсулу.

Членистоногие

От кольчатых червей ведёт своё происхождение и тип членистоногих, наиболее известные классы которого – Ракообразные, Паукообразные и Насекомые (рис. 88). Представители этих классов имеют много общего. Это водные и сухопутные организмы, обладающие хитиновым покровом, сегментированным телом и членистыми конечностями. Тип членистоногих объединяет свыше 1,5 млн разнообразных видов, завоевавших весь земной шар. Кровеносная система членистоногих незамкнутого типа, роль крови выполняет гемолимфа. У насекомых, например, от кровеносной системы фактически осталось только сердце. Зато у животных этого типа хорошо развита нервная система и многим из них присущи очень сложные формы поведения. Нервная система членистоногих состоит из надглоточного и подглоточного нервных узлов, выполняющих функции головного мозга, и брюшной нервной цепочки, нервные узлы которой по мере эволюционного развития сближаются и образуют дополнительные нервные центры.

Вместе с тем между классами членистоногих наблюдаются и определённые различия. Например, строение дыхательной и выделительной систем существенно различается у представителей разных классов в зависимости от среды обитания и образа жизни.

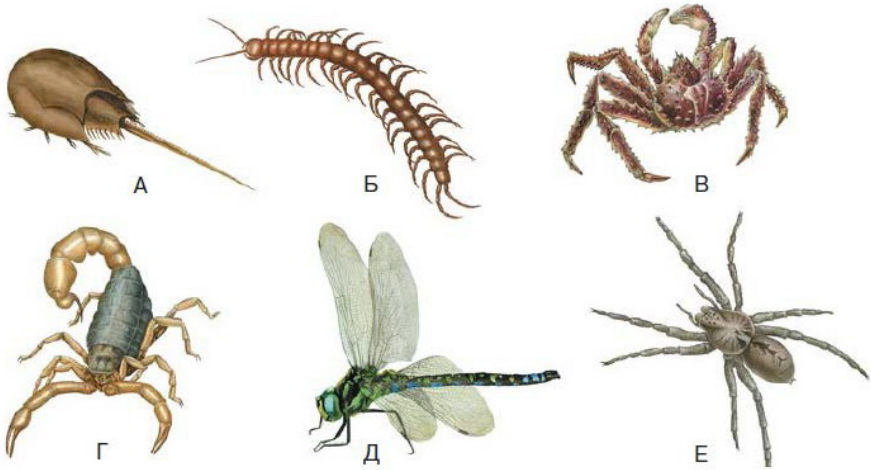


Рис. 88. Членистоногие: А – мечехвост; Б – сколопендра гигантская; В – краб камчатский; Г – скорпион; Д – коромысло большое; Е – тарантул

Ракообразные живут и размножаются в воде, дышат жабрами, имеют сложные фасеточные глаза и две пары усиков. Животные этого класса широко распространены, особенно в морях, где часто служат объектом промысла (крабы, лобстеры, креветки). Очень редко среди ракообразных встречаются сухопутные животные, например обитающая в погребах мокрица или краб пальмовый вор, который питается содержимым расколотых кокосовых орехов.

Паукообразные – это исключительно сухопутные животные, тело которых состоит из двух отделов – головогруди (слившегося головного и грудного отделов) и брюшка. У них нет усиков, простые глаза, четыре пары ходильных ног, а на брюшке у некоторых паукообразных расположены паутинные железы. Выделяемая ими паутина представляет собой жидкий белок, который быстро твердеет на воздухе и образует паутинную нить. Большинство представителей этого класса относятся к отряду *пауков.* Все пауки обладают ядовитыми железами, а некоторые представляют серьёзную (тарантул) и даже смертельную (каракурт) опасность для человека. Помимо пауков в класс паукообразных входят также *скорпионы,* чей укус для человека тоже довольно болезнен, хотя и не смертелен, *клещи,* переносящие возбудителей опасных болезней (клещевой энцефалит), а также несколько других отрядов.

Наиболее высокоразвитым среди членистоногих является класс ***Насекомые.*** Этот класс является в настоящее время господствующим на Земле – ему принадлежит абсолютный

рекорд как по числу видов (более 1 млн), так и по числу особей. Насекомые населяют все возможные среды обитания – они живут на суше, в воде, в воздухе, в растениях и в почве. Тело насекомого состоит из головы, груди и брюшка. На голове находятся пара усиков, глаза (простые и фасеточные) и ротовой аппарат, который может иметь самый различный вид. Грудь образуют три членика, на каждом из которых находится по паре ходильных ног, а на втором и третьем у многих насекомых формируются крылья. У насекомых различают два типа развития. При неполном превращении из яйца выходит личинка, внешне похожая на взрослое насекомое. Личинка растёт, несколько раз линяет и после очередной линьки превращается в половозрелую особь. При полном превращении личинка напоминает скорее червя, чем взрослую особь (вспомните гусениц). После активного питания и роста личинка превращается в куколку, из которой через некоторое время выходит взрослое насекомое, которое уже больше не растёт, а иногда даже и не питается. Класс насекомых подразделяют на множество отрядов, представители которых отличаются строением и образом жизни. С поведенческой точки зрения наибольший интерес представляет отряд перепончатокрылых, к которому относятся многие общественные насекомые (муравьи, пчёлы, осы), образующие колонии с очень сложными взаимоотношениями внутри «общества». Насекомые играют огромную роль в природе и человеческой жизни. Они служат пищей для многочисленных рыб, птиц, млекопитающих и других животных, опыляют растения и уничтожают разлагающиеся органические остатки. Вместе с тем насекомые часто являются вредителями сельскохозяйственных культур, а некоторые из них способны переносить возбудителей опасных болезней.

Проверьте свои знания

1. Объясните, какие преимущества даёт радиальная симметрия тела животным, ведущим прикреплённый или малоподвижный образ жизни.
2. Почему появление сквозного кишечника является большим шагом вперёд в эволюции животного мира? Аргументируйте свой ответ.
3. Какие системы органов впервые появились у кольчатых червей?
4. Докажите, что строение членистоногих более прогрессивно, чем строение кольчатых червей.

5. Подумайте и объясните, почему у членистоногих существует такое явление, как линька.

Задания

1. Подготовьте сообщение или презентацию о беспозвоночных – паразитах человека.

2. Есть ли в вашем регионе беспозвоночные, представляющие опасность для человека? Создайте стенд или презентацию, рассказывающую об этих животных. Включите в неё правила поведения при встрече с ядовитыми членистоногими. Выступите с сообщением о ядовитых животных перед учениками младших классов.

§ 30 Систематика и особенности строения позвоночных животных

…Животные делятся на: а) принадлежащих Императору; б) набальзамированных; в) приручённых; г) сосунков; д) сирен; е) сказочных; ж) отдельных собак; з) включённых в эту классификацию; и) бегающих как сумасшедшие; к) бесчисленных; л) нарисованных тончайшей кистью из верблюжьей шерсти; м) прочих; н) разбивших цветочную вазу; о) похожих издали на мух.

Хосе Луис Борхес

Все позвоночные животные относятся к типу ***хордовых***. К этому типу также относятся несколько примитивно устроенных подтипов, например, известный вам из курса зоологии ланцетник, а также оболочники – морские животные мешкообразной формы, покрытые оболочкой, построенной из вещества, близкого к клетчатке. Хордовыми этих животных называют потому, что у них на определённой стадии развития образуется идущая вдоль тела упругая струна – хорда, выполняющая функцию внутреннего скелета. У большинства хордовых хорда в процессе развития исчезает. Предками хордовых были кольчатые черви. Об этом говорят замкнутая кровеносная система, вторичная полость тела и частично сохранившееся разделение тела на сегменты, хорошо заметное, например, у рыб, да и у нас оставшееся в виде позвонков и рёбер.

Большинство хордовых животных относят к подтипу Позвоночные, или Черепные. Как говорит само название, у всех этих животных имеется позвоночник и череп. У низших позвоночных скелет состоит из хряща, который по мере эволюционного развития заменяется костной тканью. Внутри позвоночника и черепа у позвоночных находится центральная нервная система – головной и спинной мозг. Позвоночные имеют замкнутую кровеносную систему, где кровь приводится в движение сердцем, находящимся на брюшной стороне животного. Сердце имеет два вида камер – предсердия и желудочки. Через предсердия кровь поступает в сердце, а через желудочки выталкивается из него. У различных классов позвоночных может

быть разное число камер в сердце: одно предсердие и один желудочек, два предсердия и один желудочек или два предсердия и два желудочка.

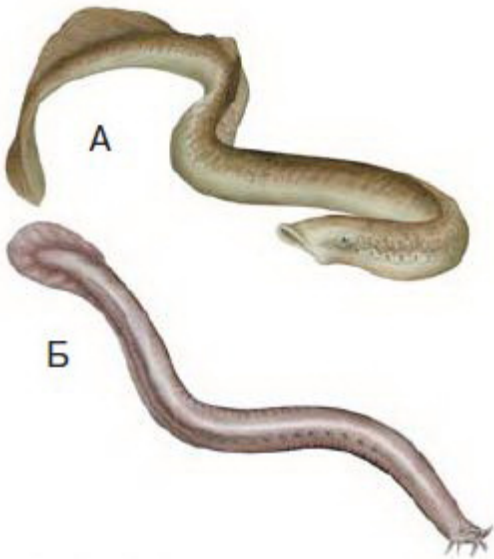


Рис. 89. Круглоротые: А – минога; Б – миксина

Круглоротые

Подтип позвоночных включает в себя семь классов. Первый из них называется ***Круглоротые*** с двумя отрядами – *Миксины* и *Миноги* (рис. 89). Круглоротые по существу представляют собой переходную форму к позвоночным животным. У них ещё нет позвоночника, а его роль всю жизнь выполняет хорда. Череп круглоротых состоит из хряща, в нём находится слаборазвитый мозг. Название класса происходит от того, что вместо челюстей у них имеется круглое или овальное ротовое отверстие, снабжённое зубами и присосками. Круглоротые питаются либо мелкими животными, либо являются паразитами рыб. Некоторые из них имеют промысловое значение.

Хрящевые рыбы

К классу хрящевых рыб относятся акулы и скаты (рис. 90). Они уже имеют позвоночник, но весь скелет в целом у них

построен из хряща. У этих рыб нет плавательного пузыря, а их плавучесть обеспечивается большим содержанием жира в тканях. У них нет жаберных крышек, и жаберные щели открываются прямо наружу тела.

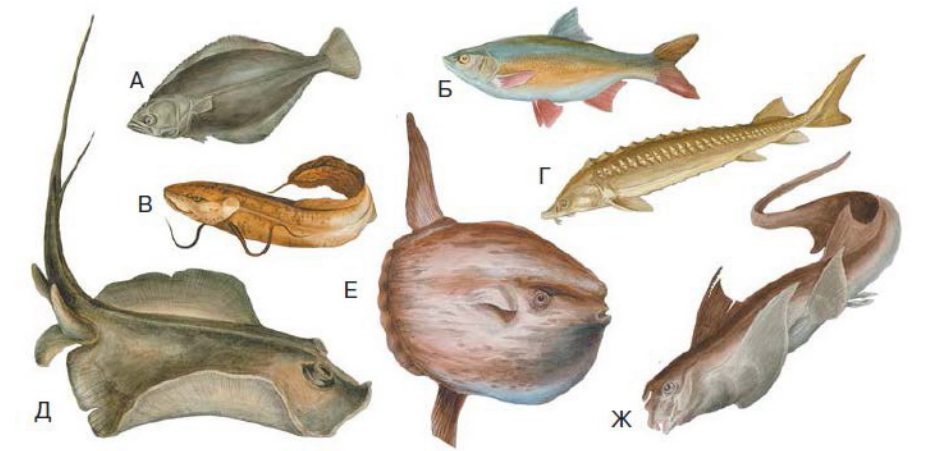


Рис. 90. Рыбы: А – палтус чёрный; Б – язь; В – протоптер; Г – осётр; Д – скат-хвостокол; Е – рыба-луна; Ж – химера европейская

Их легко отличить по неравнолопастному хвостовому плавнику и горизонтально расположенным грудным плавникам. Большинство акул и скатов – хищники, но некоторые питаются планктоном. В их числе самая крупная из известных рыб – китовая акула, длина которой иногда достигает 20 м.

Костные рыбы

Самый большой класс позвоночных, содержащий более 20 тыс. видов, – это костные рыбы. Их размеры могут колебаться от нескольких миллиметров (карликовые филиппинские бычки) до нескольких метров (белуга, сом). Костные рыбы обитают во всех водоёмах Земли – от Северного до Южного полюса. Многие из них имеют огромное промысловое значение. Их скелет целиком состоит из костей, а во рту находятся челюсти, у большинства вооружённые острыми зубами. Зубы у рыб служат только для захвата и удержания пищи, так как к пережёвыванию способны только млекопитающие. Костные рыбы, так же как и хрящевые, имеют один круг кровообращения и сердце, состоящее из одного предсердия и одного желудочка. У всех этих рыб есть плавательный пузырь и жаберные крышки, прикрывающие жаберные щели. Тело рыб покрыто чешуёй, состоящей из костных

пластинок. К этому классу принадлежит много отрядов: осетровые, окунеобразные, карпообразные, сельдеобразные и др. Долгое время подкласс кистепёрых рыб считали вымершей группой. В 1938 г. был обнаружен единственный современный вид – *Латимерия,* который обитает в районе Коморских островов на глубине около тысячи метров. Особенность кистепёрых рыб – наличие мускулатуры в составе конечностей и расчленённость их скелета. В эволюции это стало предпосылкой для превращения плавников в пятипалые конечности.

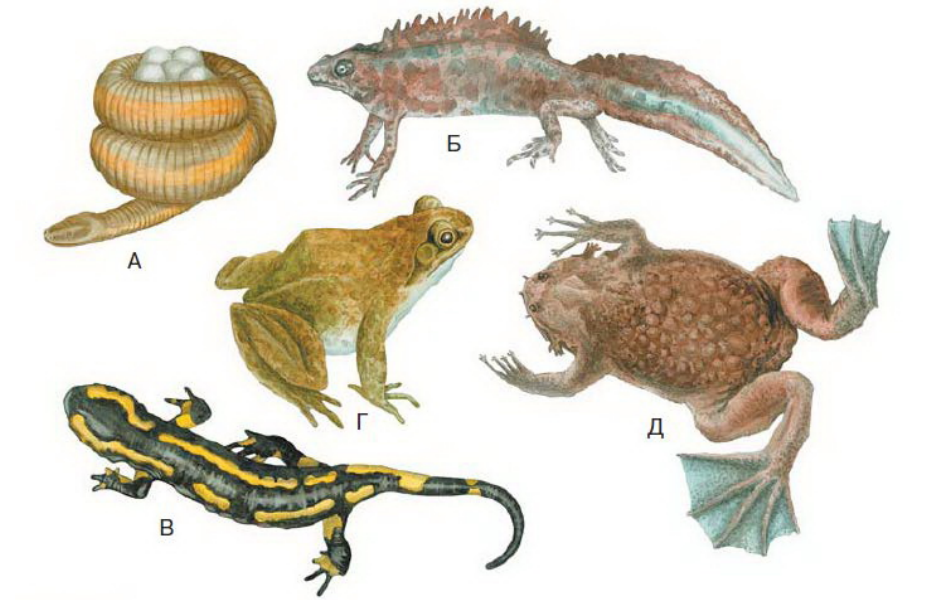


Рис. 91. Земноводные: А – рыбозмей цейлонский; Б – тритон гребенчатый; В – саламандра пятнистая, или огненная; Г – лягушка прудовая; Д – пипа суринамская

Древние кистепёрые рыбы обитали в пресных водоёмах и имели двойное дыхание: при недостатке кислорода они поднимались на поверхность и дышали воздухом. Их развитие шло в двух направлениях: одна ветвь дала начало предкам современных земноводных, а другая приспособилась к жизни в морской воде.

Земноводные

Первым классом позвоночных, которые освоили сушу, стали земноводные, или амфибии (рис. 91). В настоящее время это самый малочисленный класс позвоночных, в который входит

около 2100 видов. Класс делится на три отряда – *Бесхвостые* (лягушки, жабы, чесночницы), *Хвостатые* (тритоны и саламандры) и *Безногие* (около 50 видов тропических червяг, ведущих преимущественно подземный образ жизни). Хотя земноводные обитают в основном на суше, их жизнь тесно связана с водой. У них слабо развиты лёгкие, и газообмен частично происходит через кожу, которая для этого должна быть влажной. Они размножаются откладыванием икры, которая развивается в воде или в очень сыром месте. Из икры выходят личинки, которые в процессе метаморфоза превращаются во взрослых животных. Некоторые земноводные способны размножаться ещё на стадии личинки. Земноводные имеют два круга кровообращения и трёхкамерное сердце, состоящее из двух предсердий и одного желудочка. Кожа их выделяет большое количество слизи, предохраняющее животное от высыхания.

Пресмыкающиеся

Классом, перешедшим полностью к сухопутному образу жизни, стали пресмыкающиеся, или рептилии (рис. 92). В отличие от своих предков земноводных, даже те пресмыкающиеся, которые обитают в воде, как крокодилы или водные черепахи, всё равно откладывают яйца на суше, где и появляется на свет их потомство. Кожа у пресмыкающихся ороговевшая, сухая. Пресмыкающиеся, как и земноводные, имеют два круга кровообращения и трёхкамерное сердце, хотя у них в желудочке имеется перегородка, частично разделяющая его надвое. Крокодилы же вообще обладают четырёхкамерным сердцем. Лёгкие у пресмыкающихся хорошо развиты и служат единственным органом дыхания. Когда-то пресмыкающиеся были господствующим классом на нашей планете, но потом началось их резкое вымирание, в результате многие виды, в том числе динозавры, исчезли. Сейчас на Земле обитают около 7000 видов пресмыкающихся, которых подразделяют на четыре отряда. *Клювоголовые* – это довольно примитивные рептилии, мало изменившиеся по сравнению с ископаемыми формами. До настоящего времени дожил единственный вид из этой группы – Гаттерия. *Крокодилы* и *Черепахи* существуют с очень древнего времени и в наши дни сохранились в относительно небольшом количестве (около 230 видов черепах, всего 20 видов крокодилов). Третий отряд, *Чешуйчатые,* является эволюционно более новым и составляет абсолютное большинство среди рептилий – более 6500 видов. К нему относятся змеи, ящерицы и

хамелеоны.

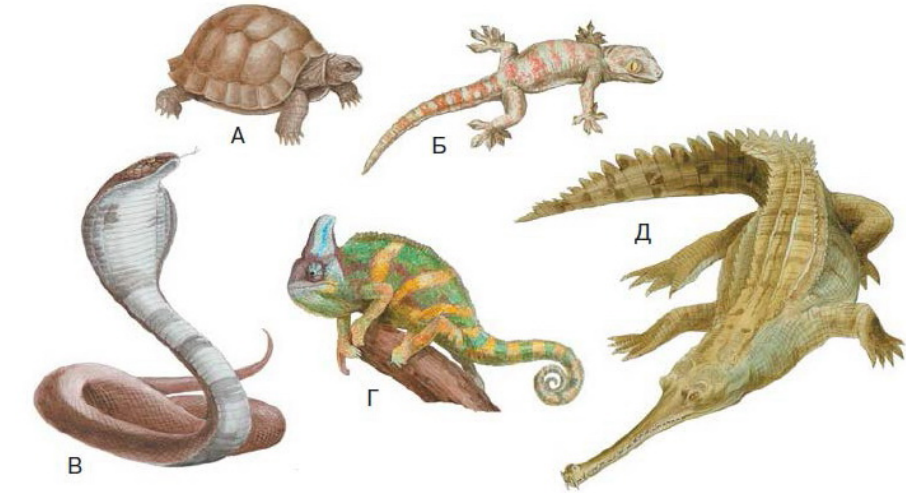


Рис. 92. Пресмыкающиеся: А – черепаха средиземноморская; Б – геккон; В – кобра индийская; Г – хамелеон мадагаскарский; Д – гавиал гангский

Птицы

Особый класс позвоночных составляют птицы – животные, завоевавшие воздушное пространство.

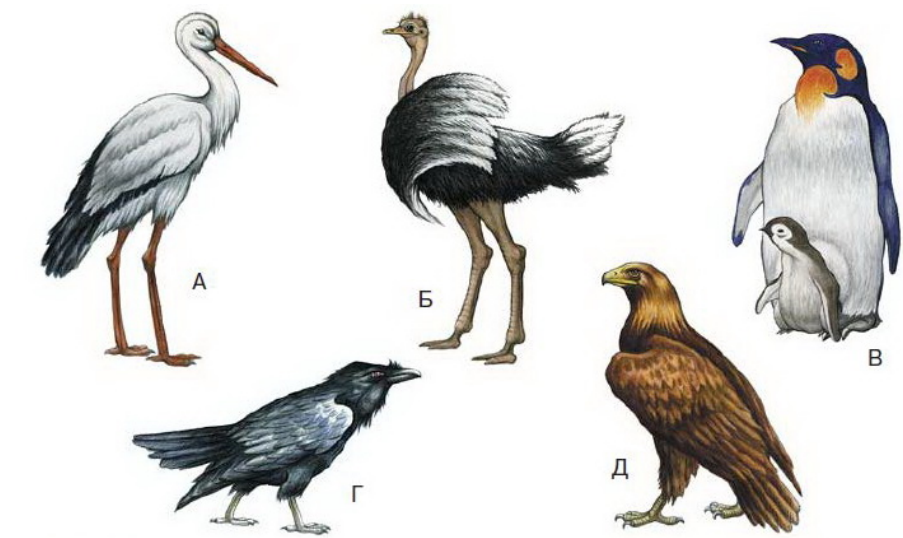


Рис. 93. Птицы: А – аист белый; Б – страус африканский; В –

пингвин императорский; Г – ворон; Д – беркут

Птицы являются прямыми потомками пресмыкающихся и, хотя сохранили много общих с ними черт, выработали ряд существенных отличий, в основном связанных с их способностью летать. Чешуя пресмыкающихся у птиц превратилась в перья, ротовой аппарат представлен клювом без зубов, уровень обмена веществ чрезвычайно высок. У них имеется так называемое двойное дыхание, которое позволяет при каждом дыхательном акте потреблять кислород дважды – на вдохе и на выдохе. Птицы обладают четырёхкамерным сердцем, состоящим из двух предсердий и двух желудочков, и очень интенсивным кровообращением. Температура тела у них постоянна (т. е. не зависит от температуры внешней среды) и очень высока, иногда она доходит до 45 °С. Птицы имеют много особенностей, которые позволяют им уменьшать массу своего тела. Птицы обитают по всему земному шару, за исключением внутренних областей Антарктиды. Класс птиц насчитывает около 9000 видов и делится на два подкласса – *Ящерохвостые птицы,* к которым относят вымершего археоптерикса, и *Веерохвостые,* или Настоящие птицы. К веерохвостым относят все современные отряды птиц (около 30): гусеобразные, журавлеобразные, дневные хищники, совообразные, попугаеобразные, воробьинообразные и др. (рис. 93).

Млекопитающие

Последним классом позвоночных животных, к которому принадлежат и люди, является класс млекопитающих, или Звери. Особенностью млекопитающих является их способность выкармливать детёнышей молоком, за что они и получили своё название. Представители этого класса имеют хорошо развитый, покрытый корой головной мозг, волосяной покров тела и особое образование – диафрагму, отделяющую грудную полость от брюшной. Зубы у млекопитающих находятся в углублениях челюстных костей и разделены на резцы, клыки, малые коренные и большие коренные зубы. Так же как и птицы, млекопитающие имеют четырёхкамерное сердце и постоянную температуру тела, хотя и меньшую, чем у птиц. Класс млекопитающих объединяет 4500 видов и включает три подкласса. К *яйцекладущим* относятся самые примитивные звери, обитающие в Австралии и Новой Гвинее.

Рис. 94. Млекопитающие

Они откладывают яйца, имеют беззубый клюв, не имеют постоянной температуры тела и, хотя выделяют молоко для кормления детёнышей, не имеют сосков, так что их потомству приходится это молоко слизывать. *Сумчатые* животные (кенгуру, коала, опоссум и др.) живут примерно в тех же местах, где и яйцекладущие, а также в Центральной Америке. Сумчатые рождают живых детёнышей, однако, не имея плаценты, они не могут их нормально вынашивать. Поэтому фактически у них рождается эмбрион, который немедленно забирается в сумку материнского тела, присасывается к соскам и живёт там, пока не вырастет и не сможет существовать самостоятельно. Все остальные млекопитающие относятся к подклассу *плацентарных,* или *высших зверей,* которых подразделяют на 18 отрядов: грызуны (крысы, мыши, белки, дикобразы), парнокопытные (быки, свиньи, бегемоты, козлы), непарнокопытные (лошади, ослы, зебры), хищные (волки, кошки, медведи), а также другие отряды, в том числе и отряд приматов, к которому принадлежат обезьяны и

человек (рис. 94).

Проверьте свои знания

1. Представители каких отрядов земноводных обитают в вашем регионе? Назовите известные вам виды. Опишите их образ жизни и местообитания.
2. Какие прогрессивные изменения в строении и жизнедеятельности пресмыкающихся позволили им разорвать связь с водной средой?
3. Почему птицы выиграли в конкуренции с древними летающими пресмыкающимися?
4. Почему в настоящее время численность многих видов птиц уменьшается, а популяции воробьёв, голубей, ворон становятся всё более многочисленными?
5. Какие черты строения млекопитающих обеспечили им наиболее высокую организацию среди позвоночных?

Задания

1. Подготовьте сообщение о мерах по охране и разведению рыб в вашем регионе.
2. Есть ли в вашем регионе земноводные и пресмыкающиеся, представляющие опасность для человека? Создайте стенд или презентацию, рассказывающую об этих животных. Включите в неё правила поведения при встрече с ядовитыми змеями. Выступите с сообщением о ядовитых животных перед учениками младших классов.
3. Используя дополнительные источники информации, составьте сравнительную таблицу «Кровеносная и дыхательная системы различных классов позвоночных животных».

§ 31 Размножение и развитие у растений

Насколько хватает глаз, к небу поднимались деревья. Не одно, не два, не десяток, а все те тысячи, что он посадил, опуская в землю семена и саженцы. И не мелочь какая-нибудь, нет, не поросль, не хрупкие деревца, а мощные стволы, могучие деревья, высотой с дом, зелёные– зелёные, огромные, пышные, деревья с отливающей серебром листвой, шелестящие на ветру, длинные ряды деревьев на склонах холмов, лимонные деревья и липы, секвойи и мимозы, дубы и вязы, осины, вишни, клёны, ясени, яблони, апельсиновые деревья, эвкалипты – подстёгнутые буйным дождём, вскормленные чужой волшебной почвой. На его глазах тянулись новые ветви, лопались новые почки.

Рей Брэдбери. Зелёное утро

Как вы знаете, размножение может быть бесполым и половым. Мы уже рассмотрели виды бесполого размножения, которое встречается у растений. Но не меньшее значение в жизни растений имеет и половое размножение.

Половое размножение у растений

Вам известно, что при половом размножении новое поколение возникает, как правило, в результате слияния двух половых клеток. У растений существуют различные типы гамет, что и определяет различные типы полового процесса. Если гаметы внешне неразличимы, их называют *изогаметами,* а половой процесс – *изогамией.* Слияние различных по размеру подвижных гамет (*гетерогамет*), где обычно женская гамета крупнее и менее подвижна, нежели мужская, называют *гетерогамией.* У многих водорослей и у всех высших растений существует *оогамия* – слияние больших и неподвижных женских

гамет *(яйцеклеток)* с мелкими и подвижными мужскими *(сперматозоидами)*. Гаметангии (половые органы) высших растений, в которых образуются яйцеклетки, называют *архегониями.* Сперматозоиды образуются в *антеридиях.* У большинства семенных растений мужские гаметы в процессе эволюции утратили жгутики и способны только к пассивному передвижению. Такие мужские гаметы называют *спермиями.*

Чередование поколений у растений

В жизненном цикле каждого растения, имеющего половое размножение, происходит смена ядерных фаз – гаплоидной и диплоидной. Если органы полового и бесполого размножения образуются на разных растениях, имеет место чередование поколений – полового и бесполого. Происходит последовательная смена двух типов организмов: гаплоидное и диплоидное поколения поочерёдно сменяют друг друга (рис. 95). Половое гаплоидное поколение, образующее в половых органах гаметы, называют *гаметофитом,* так как оно способно к половому размножению. На гаметофитах образуются половые органы, в которых в процессе митоза формируются гаплоидные гаметы.

Рис. 95. Схема чередования полового и бесполого поколений (гаметофита и спорофита) в жизненном цикле растений.

Сливаясь, гаметы образуют диплоидную зиготу, из которой вырастает бесполое диплоидное поколение – спорофит. На

спорофите в спорангиях в результате мейоза образуются гаплоидные споры. Из спор вырастают гаплоидные гаметофиты, т. е. происходит возврат к гаплоидному поколению. Таким образом, чередование поколений сопровождается также чередованием плоидности.

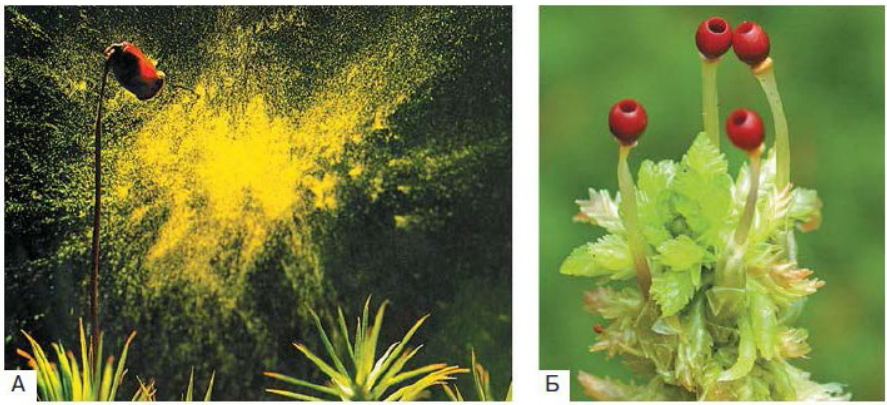


Рис. 96. Спорофит мхов полностью зависит от гаметофита, развиваясь на нём в виде коробочки на ножке: А – кукушкин лён; Б – сфагнум

Гаметофиты и спорофиты

Размеры и внешний вид гаметофитов сильно различаются у разных отделов растений. У мхов гаметофитом является всё растение, т. е. моховой покров, выстилающий сырые леса и болота, – это гаплоидные растения. У папоротников, хвощей и плаунов гаметофитом служит специальное небольшое образование, называемое заростком. У папоротника, например, заросток представляет собой тонкую сердцевидную пластинку размером около сантиметра. У голосеменных растений гаметофит образуется в шишках. Он может быть мужским (пыльцевое зерно) и женским (эндосперм с двумя архегониями). У покрытосеменных растений мужской гаметофит – пыльцевое зерно, а женский гаметофит – зародышевый мешок, расположенный в завязи пестика.

Большинство растений, которые мы обычно видим вокруг (кроме мхов), – это диплоидные спорофиты. А вот у мхов диплоидный спорофит образуется на верхушке листостебельных растений (рис. 96). Коробочка на тонкой ножке, которая вырастает из верхушки женского растения кукушкиного льна, –

это и есть спорофит. В коробочке в результате мейоза образуются гаплоидные споры, которые, попадая в землю, прорастают в новые зелёные растения.

Оплодотворение у растений

Для того чтобы гаметы, образующиеся в половых органах на гаметофитах, дали продолжение своему виду, они должны слиться, т. е. требуется, чтобы произошло оплодотворение. Для этого мужские гаметы должны встретиться с женскими. Как может произойти эта встреча? Подвижные, снабжённые жгутиками гаметы мхов, папоротников, хвощей и плаунов, переносятся в основном водой. Оплодотворение у мхов происходит на верхушках растений, а у остальных споровых растений – на заростках. Для того чтобы оплодотворение произошло у семенных растений, требуется, чтобы пыльца (мужской гаметофит, в котором образуются спермии) попала на женский гаметофит. Процесс переноса пыльцы на рыльце пестика называют *опылением.* После опыления из пыльцевого зерна начинает прорастать трубка, по которой спермии достигают завязи (рис. 97).

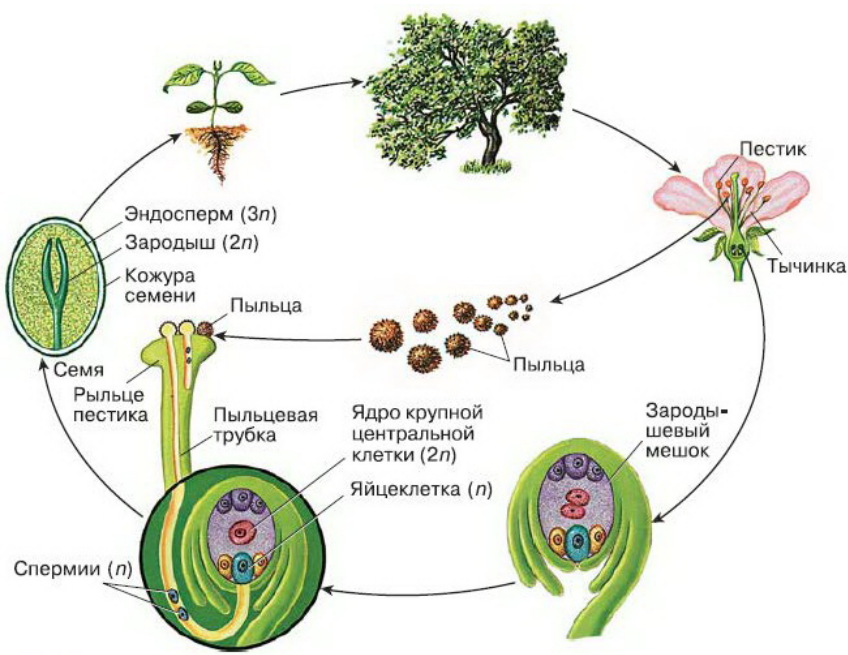


Рис. 97. Двойное оплодотворение у цветковых растений

Войдя в зародышевый мешок, спермий сливается с

яйцеклеткой. В результате возникает зигота, из которой впоследствии развивается семя.

Особый тип оплодотворения характерен для цветковых растений. Он был открыт в конце XIX в. замечательным русским учёным Сергеем Гавриловичем Навашиным и получил название *двойного оплодотворения* (см. рис. 97). Во время опыления пыльца растения попадает на рыльце пестика. Клетки пыльцевого зерна, делятся, образуя два неподвижных спермия и специальную клетку, которая, прорастая внутрь пестика, формирует так называемую пыльцевую трубку. В завязи пестика развивается зародышевый мешок с восемью гаплоидными клетками. Одна из них становится яйцеклеткой, а две другие сливаются, образуя центральную диплоидную клетку. Остальные пять клеток имеют вспомогательное значение.

После того как пыльцевая трубка прорастает в основание пестика, спермии, находящиеся внутри неё, проникают в зародышевый мешок. Один спермий оплодотворяет яйцеклетку – возникает диплоидная зигота; из неё в дальнейшем развивается зародыш. Другой спермий сливается с центральной диплоидной клеткой, образуя клетку с тройным хромосомным набором (триплоидную), из которой затем формируется эндосперм – питательная ткань для зародыша. Таким образом, у покрытосеменных растений в оплодотворении участвует два спермия, т. е. осуществляется двойное оплодотворение.

Семя

После оплодотворения у семенных растений развивается семя. У голосеменных растений семя состоит из диплоидного зародыша (зачатка нового спорофита), покрова семени и гаплоидного эндосперма, который выполняет функцию запасающей ткани для развивающегося из зародыша проростка спорофита. У цветковых растений семя образуется внутри завязи пестика. Из оплодотворённой яйцеклетки (зиготы) развивается зародыш, из триплоидной центральной клетки – эндосперм, из покровов семязачатка – семенная кожура (рис. 98). Из стенки завязи образуются стенки плода (околоплодник).

Рис. 98. Строение семян цветковых растений

Семена растений распространяются с помощью ветра, воды или животных. Они очень устойчивы к различным воздействиям внешней среды: могут переносить низкие температуры, отсутствие влаги и почти не нуждаются в кислороде. В таком неактивном виде семена могут существовать в течение многих лет. При наступлении благоприятных условий семена прорастают и дают начало новому спорофитному поколению.

Проверьте свои знания

1. Какие типы размножения встречаются у растений?
2. Что образуется на гаметофите и что – на спорофите?
3. Что находится в семени покрытосеменных растений?
4. Используя рисунок 97, опишите процесс двойного оплодотворения.

Задания

1. Вспомните из курса биологии растений, чем различаются перекрёстное опыление и самоопыление. Приведите примеры растений, имеющих такие типы опыления.
2. Назовите растения, произрастающие в вашей местности, оплодотворение которых зависит от наличия воды.

§ 32 Размножение и развитие у животных

Omne vivum ex ovo.
(Всё живое из яйца.)

Уильям Гарвей

Оплодотворение у животных

Абсолютное большинство многоклеточных животных размножается половым путём. У всех животных женские и мужские гаметы различаются по размеру и по форме. Существует два варианта оплодотворения – внешнее и внутреннее. *Внешнее оплодотворение* происходит в окружающей среде, обычно в воде, куда самки откладывают яйцеклетки, а самцы – сперматозоиды. Такое оплодотворение характерно для многих водных позвоночных – большинства рыб и бесхвостых земноводных. *Внутреннее оплодотворение* происходит в половых путях самок, куда самцы вводят сперматозоиды. Такое оплодотворение типично для наземных животных. Среди животных встречаются *гермафродиты* – организмы, способные образовывать как женские, так и мужские гаметы. При встрече они обмениваются сперматозоидами, которые, попадая в организм партнёра, впоследствии сливаются с его яйцеклетками.

Онтогенез

Индивидуальное развитие особи, всю совокупность её преобразований от возникновения до конца жизни называют *онтогенезом.*

У бактерий и одноклеточных эукариотических организмов онтогенез начинается в момент образования организма в результате деления материнской клетки и завершается или гибелью клетки, или очередным делением организма, т. е., по сути, совпадает с клеточным циклом.

У многоклеточных организмов, которые размножаются бесполым путём, онтогенез начинается с обособления одной или нескольких клеток материнского организма, дающих начало новой особи.

У организмов, размножающихся половым путём, индивидуальное развитие начинается с момента оплодотворения

и образования зиготы и подразделяется на два периода: *эмбриональный* (период зародышевого развития) и *постэмбриональный* (период послезародышевого развития). Соотношение длительности этих периодов у организмов разных видов может сильно различаться.

***Эмбриональный период* (*эмбриогенез*)** длится от момента образования зиготы до выхода зародыша из яйца или рождения. Он протекает в несколько этапов. На первой стадии, которая называется *дроблением,* оплодотворённая яйцеклетка делится митозом, в результате чего получается 2, 4, 8, 16 и т. д. клеток, которые плотно прилегают друг к другу (рис. 99). Интерфаза между делениями очень короткая, клетки не растут, поэтому процесс дробления происходит очень быстро. Заканчивается дробление образованием *бластулы* – полого шарика, стенка которого состоит из одного слоя клеток. Далее на одном из полюсов бластулы клетки начинают делиться более активно и углубляются внутрь шарообразного зародыша, образуя впячивание. В результате этого процесса формируется двухслойный зародыш – *гаструла.* Два слоя клеток, образующих её стенки, называются *зародышевыми листками:* наружный листок – *эктодерма* и внутренний – *энтодерма*.

У всех животных, кроме губок и кишечнополостных, при дальнейшем развитии зародыша между эктодермой и энтодермой образуется третий зародышевый листок – *мезодерма.* Формируется поздняя га струла.

Дальнейшее развитие зародыша связано с взаимодействием трёх зародышевых листков, из которых формируются все ткани и органы организма. Развитие систем органов зародыша – *органогенез* – происходит в определённой последовательности. У хордовых животных он начинается с образования зачатка хорды и нервной системы. На спинной стороне зародыша происходит обособление группы клеток эктодермы в виде длинной пластинки.

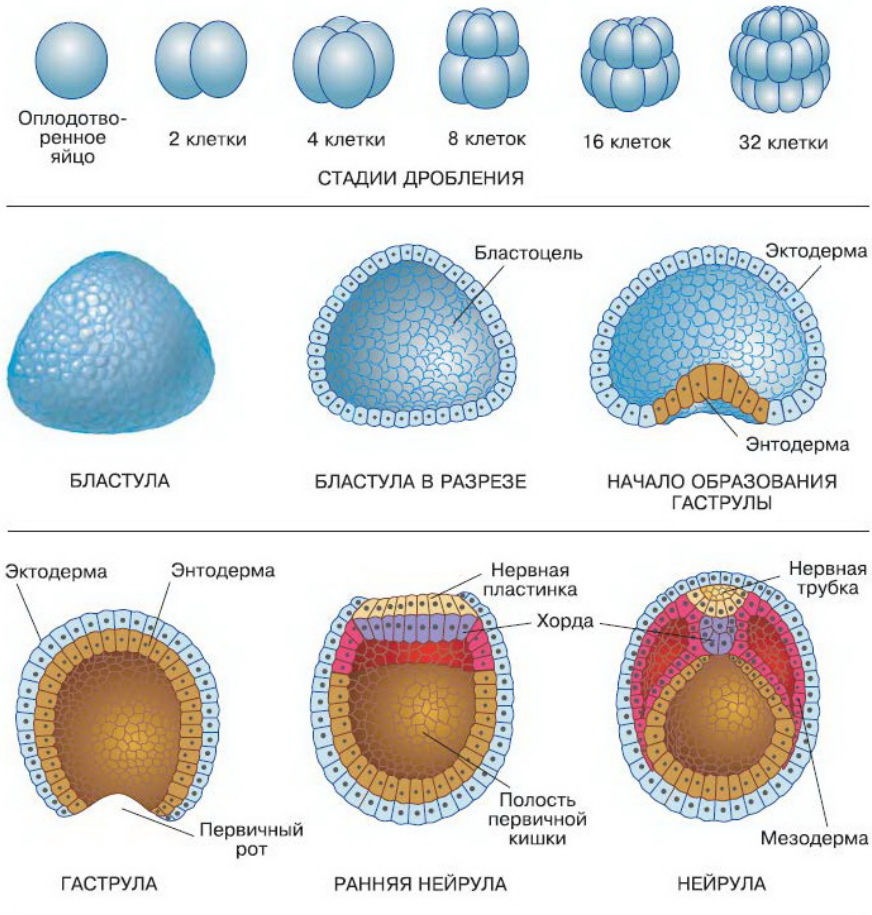


Рис. 99. Дробление оплодотворённого яйца ланцетника и образование зародышевых листков

Эти клетки начинают активно делиться, погружаясь в тело зародыша и образуя желобок, края которого постепенно сближаются, а затем смыкаются, формируя первичную нервную трубку. На этой стадии зародыш называют *нейрулой*.

Кроме нервной системы из эктодермы возникают также кожные железы, эмаль зубов, волосы, ногти, наружный эпителий. Энтодерма даёт начало тканям, выстилающим кишечник и дыхательные пути, образует печень и поджелудочную железу. Из мезодермы образуются мышцы, хрящевой и костный скелет, органы выделительной, половой и кровеносной систем организма.

Может возникнуть естественный вопрос: если все клетки организма образуются из зиготы путём митозов, значит, они генетически одинаковы, тогда откуда же берётся их дифференцировка, т. е. почему они в конечном счёте становятся

разными по строению и по функциям? Дело в том, что в каждой клетке далеко не все гены находятся в рабочем состоянии. Многие из них выключены, или, как говорят, *репрессированы.* Для этого вырабатываются специальные белки – репрессоры, которые прикрепляются к участку гена и мешают этому гену функционировать, т. е. осуществлять транскрипцию. По мере дифференци– ровки клеток те гены, которые не понадобятся данной ткани или данному органу, репрессируются, прекращают свою работу. Например, в нервных клетках не требуются белки, необходимые для пищеварительных клеток, а потому гены, образующие эти белки, хотя и присутствуют в нервных клетках, находятся в репрессированном состоянии. Те же гены, которые кодируют синтез белков, требуемых нервной клетке, находятся в активном состоянии и называются *экспрессированными.*

Рис. 100. Однояйцовые (монозиготные) близнецы

Дифференцировка клеток зародыша возникает не сразу, а на определённом этапе развития. На ранних стадиях дробления клетки зародыша ещё не специализированы, поэтому каждая из них может дать начало целому организму. Если по какой-либо причине эти клетки разъединяются, образуются два одинаковых эмбриона, содержащих идентичную генетическую информацию, каждый из которых развивается в полноценную особь. В итоге рождаются однояйцовые, или монозиготные, близнецы. В человеческой популяции – это единственные люди, имеющие идентичный генотип и являющиеся генетическими копиями друг друга (рис. 100).

Постэмбриональный период начинается с момента рождения

организма и заканчивается его смертью. Различают непрямое и прямое постэмбриональное развитие.

Непрямое, или *личиночное,* развитие характерно для многих беспозвоночных и некоторых позвоночных животных (рыб и земноводных). Это предполагает рождение особи, порой совершенно не похожей на взрослый организм. В процессе непрямого развития особь проходит одну или несколько личиночных стадий (головастик у лягушки, гусеница у бабочки) (рис. 101). Личинки ведут самостоятельную жизнь, активно питаются, растут и развиваются. По истечении определённого времени личинка превращается во взрослую особь – происходит *метаморфоз,* поэтому этот тип развития ещё называют *развитием с метаморфозом.* Для многих видов наличие личиночной стадии в процессе развития – это возможность расселения и отсутствие конкуренции особей разного возраста за место обитания и пищу.

Прямое развитие характерно для организмов, детёныши которых рождаются уже похожими на взрослых особей (см. рис. 101). Только что вылупившийся цыплёнок, родившийся котёнок или ребёнок человека отличаются от взрослого меньшими размерами, несколько иными пропорциями тела и недоразвитием некоторых систем органов, например половой. Различают яйцекладный и внутриутробный типы прямого развития.

Неличиночный, или яйцекладный, тип развития характерен для пресмыкающихся, птиц, яйцекладущих млекопитающих и ряда беспозвоночных. Яйца этих организмов богаты питательными веществами (желтком), и зародыш может длительное время развиваться внутри яйца.

Внутриутробный тип развития характерен для всех высших млекопитающих, в том числе и человека. Все жизненные функции зародыша при этом типе развития осуществляются путём взаимодействия с материнским организмом через специальный орган – плаценту. Зародышевое развитие заканчивается процессом рождения.

Рис. 101. Животные с прямым (А) и непрямым (Б) развитием

После рождения обычно наблюдается активный рост организма, т. е. увеличение его размеров и массы. Большинство животных, взрослея, растут всё медленнее и, достигнув определённого возраста, расти перестают. Такой тип роста называется *определённым*. При *неопределённом* типе роста организмы растут всю жизнь, как, например, моллюски, рыбы и земноводные. После завершения активного роста организм вступает в стадию зрелости, которая связана с деторождением. Заканчивается процесс индивидуального развития старением и смертью.

Проверьте свои знания

1. Что называют индивидуальным развитием организма?
2. Перечислите периоды онтогенеза.
3. Какое развитие называют эмбриональным, а какое – постэмбриональным?
4. Объясните, почему, несмотря на то что гены одинаковы во всех клетках организма, эти клетки имеют разное строение и

функции.

5. Какие существуют типы постэмбрионального развития организма? Приведите примеры.

6. В чём заключается биологическое значение метаморфоза?

7. Охарактеризуйте понятие «рост». Сравните определённый и неопределённый типы роста.

Задания

1. Составьте схему, иллюстрирующую, какие системы образуются из эктодермы, энтодермы и мезодермы.

2. Составьте и заполните в тетради таблицу «Основные этапы эмбриогенеза».

§ 33 Основные законы наследственности. Законы Менделя

К о р о л ь. Я страшный человек!

Х о з я и н (радостно). Ну да?

К о р о л ь. Очень страшный. Я тиран!

Х о з я и н. Ха-ха-ха!

К о р о л ь. Деспот. А кроме того, я коварен, злопамятен, капризен.

Х о з я и н. Вот видишь? Что я тебе говорил, жена?

К о р о л ь. И самое обидное, что не я в этом виноват…

Х о з я и н. А кто же?

К о р о л ь. Предки. Прадеды, прабабки, внучатые дяди, тёти разные, праотцы и праматери. Они вели себя при жизни как свиньи, а мне приходится отвечать. Паразиты они, вот что я вам скажу, простите невольную резкость выражения. Я по натуре добряк, умница, люблю музыку, рыбную ловлю, кошек. И вдруг такого натворю, что хоть плачь.

Х о з я и н. А удержаться никак невозможно?

К о р о л ь. Куда там! Я вместе с фамильными драгоценностями унаследовал все подлые фамильные черты. Представляете удовольствие? Сделаешь гадость – все ворчат, и никто не хочет понять, что это тётя виновата.

Е. Шварц. Обыкновенное чудо

О том, что дети бывают похожими на своих родителей и даже на более отдалённых предков, люди знали уже с незапамятных времён. О причинах этого вначале мало задумывались и почему-

то основным фактором наследования считали кровь, хотя вроде было ясно, что она не принимает непосредственного участия в размножении. Однако мы до сих пор используем выражения типа «В моих жилах течёт кровь участников Бородинского сражения!», «У Пушкина была примесь африканской крови» или «Кровные родственники». Понятно, что ни в чьих жилах кровь предков и родственников не течёт, но, говоря так, мы утверждаем, и не без основания, что какие-то признаки являются общими для предков и потомков или для близких родственников. Что же это за признаки? С тех пор как была установлена роль половых клеток в появлении и развитии организма, появились основания считать, что эти признаки хранятся в гаметах. Существовала точка зрения, что организм просто вырастает из гаметы, где уже сформированы зачатки будущих органов. При этом одни считали, что предшественником организма является сперматозоид (рис. 102), а яйцеклетка служит только запасом питательных веществ, другие же, наоборот, полагали, что организм развивается из яйцеклетки, а сперматозоид только запускает процесс её развития.

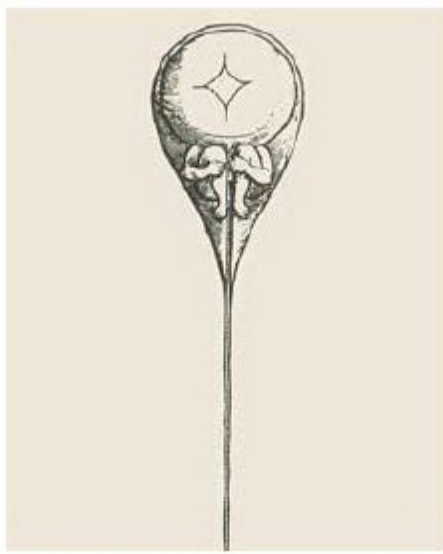


Рис. 102. Зародыш внутри сперматозоида (гравюра XVII в.)

Гибридологический метод Г. Менделя

Впервые научная теория наследственности была разработана чешским учёным Грегором Менделем (1822–1884). После нескольких безуспешных попыток сдать экзамены по биологии он,

будучи аббатом монастыря в г. Брно, решил заняться научными исследованиями самостоятельно. В руководимом им монастыре был огород, на котором, в частности, выращивали горох. Мендель обратил внимание на то, что различные экземпляры гороха могут различаться по ряду признаков, и решил изучить, как наследуются эти признаки. Для этого он разработал ***гибридологический метод.*** Суть этого метода заключается в том, что проводится скрещивание (гибридизация) организмов, различающихся по небольшому числу признаков. У получающихся потомков (гибридов) проводится точный количественный анализ частоты проявления того или иного признака с использованием методов математической статистики. Существенной особенностью гибридологического метода является то, что изучаемые признаки должны быть альтернативными (взаимоисключающими). Например, семена должны быть либо жёлтыми, либо зелёными; цветки – либо белыми, либо красными; форма семян – либо гладкой, либо морщинистой и т. д.

Моногибридное скрещивание

Первые исследования Менделя были посвящены наследованию только цвета семян гороха (рис. 103). Такое скрещивание, при котором учитывается только один признак, называют *моногибридным.* Горох может образовывать либо жёлтые, либо зёленые семена. Кроме того, горох – самоопыляющееся растение, т. е. цветок защищён от случайного попадания посторонней пыльцы. Для первого скрещивания Мендель использовал *чистые линии* растений. Чистота линии определяется тем, что при самоопылении в течение нескольких поколений не появляется нового признака: всё потомство гороха с жёлтыми семенами образует только жёлтые семена, а всё потомство гороха, имеющего зелёные семена, – только зелёные.

Скрестив чистую линию гороха, в которой всегда образовывались только жёлтые семена, с чистой линией, неизменно производившей только зелёные, Мендель получил гибридное потомство, *все семена которого были исключительно жёлтого цвета*[14]. У гибридов первого поколения проявился признак только одного из родителей. Такой признак Мендель назвал ***доминантным,*** другой признак, не проявляющийся в первом поколении гибридов, – ***рецессивным.*** Таким образом, можно сказать, что у гороха жёлтый цвет семян доминирует над зелёным. В результате этих опытов был установлен ***закон единообразия гибридов первого поколения,*** который теперь

называют ***первым законом Менделя.***

Продолжая свои исследования, Мендель скрестил гибриды первого поколения (напомним, что все они имели жёлтые семена) между собой. У выросших в результате этого гибридов второго поколения около 3/4 семян оказалось жёлтого (доминантного) цвета и около 1/4 семян – зелёного (рецессивного) цвета. Следовательно, семян с доминантным признаком оказалось в три раза больше, чем семян с рецессивным признаком. Эту закономерность называют ***законом расщепления гибридов второго поколения*** или ***вторым законом Менделя.***

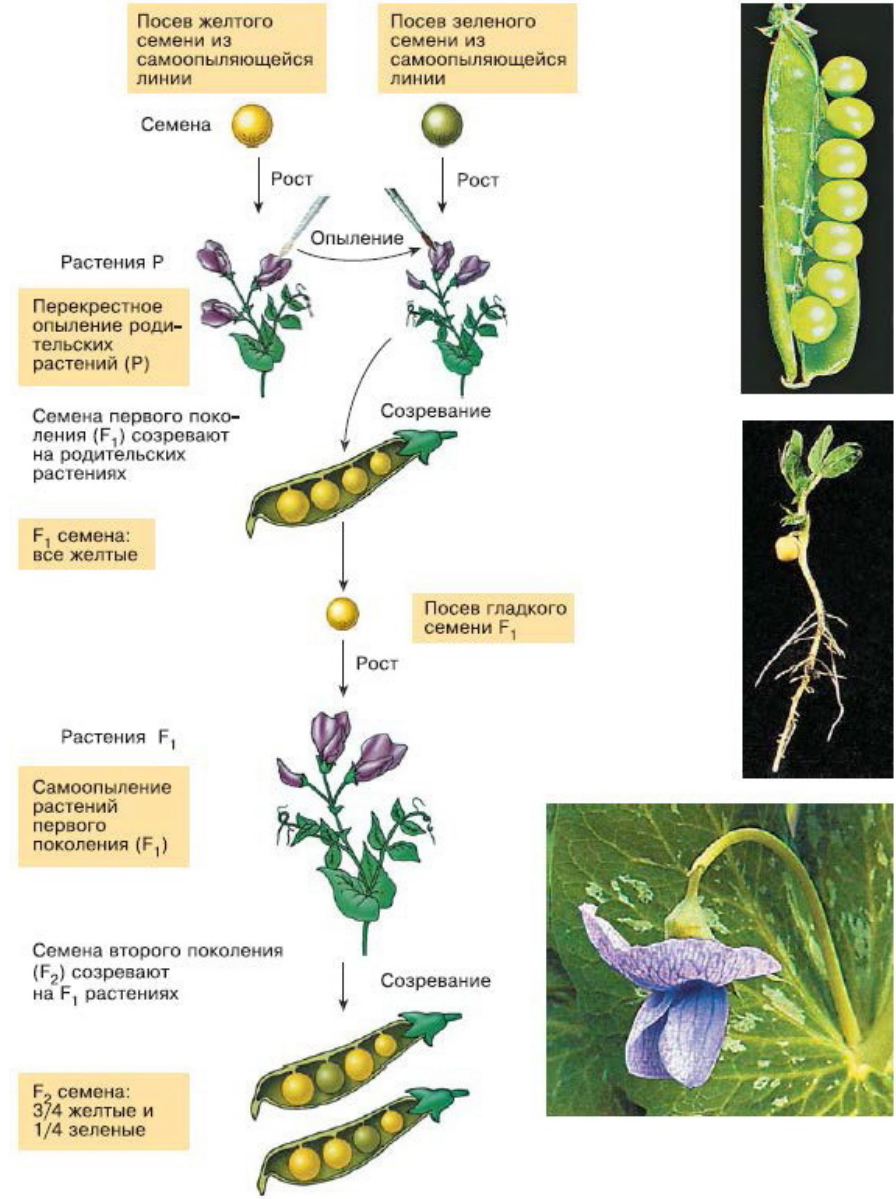


Рис. 103. Моногибридное скрещивание

Величайшая заслуга Менделя проявляется в том, что он установил законы наследственности, ничего не зная о её механизмах. Он опубликовал результаты своих опытов и сделанные из них выводы в 60-х гг. XIX в., когда ещё не было известно, что носителями наследственных признаков являются молекулы ДНК, входящие в состав хромосом, т. е. о существовании хромосом и нуклеиновых кислот, конечно, знали, но не догадывались, что они связаны с наследованием

признаков. Мендель предположил, что развитие каждого признака определяется каким-то наследственным фактором (слово «ген» появилось много позже). В соматических клетках эти факторы находятся в двух экземплярах, которые могут быть одинаковыми (например, определять один и тот же цвет семян) или разными (определять разные цвета семян). В первом случае организм называют *гомозиготным,* а во втором – *гетерозиготным.* В гаметах же каждый фактор присутствует только в одном экземпляре.

В настоящее время нам известно, что каждый признак определяется геном, расположенным в определённом участке хромосомы. В соматических клетках (клетках тела) число хромосом обычно в два раза больше, чем в зрелых половых клетках. Это объясняется тем, что при оплодотворении половина хромосом в яйцеклетке приходит от материнского организма и половина в ядре сперматозоида от отцовского, т. е. в ядре соматической клетки все хромосомы парные. Причём хромосомы каждой пары отличаются от других хромосом. Такие парные, одинаковые по форме и размеру хромосомы, несущие одинаковые гены, одна из которых происходит от материнского организма, а другая – от отцовского, называют *гомологичными.* В одинаковых локусах двух гомологичных хромосом находятся два гена, определяющие один и тот же признак. Эти гены называются *аллельными* генами или просто аллелями. Доминантные признаки (и соответственно аллели) обычно обозначают прописными латинскими буквами (A, *B,* C), а рецессивные – строчными (a, b, c).

Следует отметить, что, разбирая сейчас результаты скрещиваний, полученные Менделем, мы находимся в гораздо более выигрышном положении, чем был сам учёный в середине XIX в. В то время никто не знал о мейозе, локализации наследственной информации в хромосомах, гаплоидности и диплоидности организмов. Тем большую ценность имеют выводы, сделанные Менделем.

Цитологические основы моногибридного скрещивания

Давайте схематично представим результаты скрещиваний, осуществлённые Менделем, используя современные знания (рис. 104). При этом совокупность находящихся в клетке генов будем называть *генотипом,* а внешний вид организма (в данном случае цвет семян) – *фенотипом.*

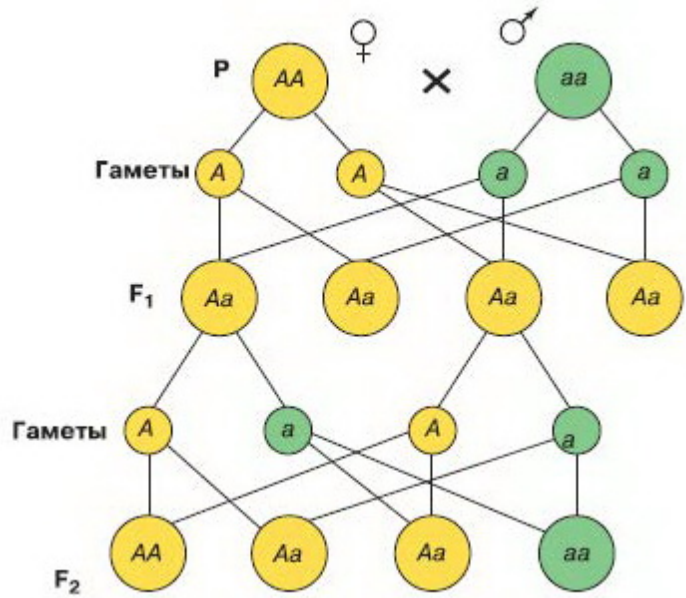


Рис. 104. Цитологические основы моногибридного скрещивания F_2

Для составления схемы скрещивания используют следующие обозначения: *P* (от лат. parenta – родители) – родительское поколение, *F1* (от лат. filii – дети) – первое поколение гибридов, *F2* – второе поколение гибридов, символ ♀ – женская особь, символ ♂ – мужская, знак х – скрещивание, *A* – доминантный ген, отвечающий за формирование жёлтой окраски семян, *a* – рецессивный ген, отвечающий за зелёную окраску. Исходные родительские растения в рассматриваемом опыте были гомозиготными, т. е. содержали в обеих гомологичных хромосомах одинаковые аллели гена. Следовательно, первое скрещивание можно записать так: *P* (♀ *AA* х ♂ *aa)*. Оба родительских растения могли образовывать гаметы только одного типа: женское растение – гаметы, содержащие ген А, мужское – *a.* Поэтому при их слиянии все особи первого поколения имели одинаковый гетерозиготный генотип (Аа) и одинаковое проявление признака (жёлтые семена). Гибриды первого поколения образовывали в равном соотношении гаметы двух типов, несущие гены *A* и *a.* При самоопылении в результате случайной встречи гамет в F_2 возникали следующие зиготы: АА, Аа, аА, аа, что можно записать так: *AA* + 2Аа + аа. Гетерозиготные семена окрашены в жёлтый цвет, поэтому по фенотипу расщепление во втором поколении соответствует 3: 1. Понятно, что $^1/_3$ растений, которые выросли из жёлтых семян, имеющих гены *AA*, при самоопылении сформируют только

жёлтые семена. Остальные $^2/_3$ растений (Аа) в следующем поколении вновь образуют расщепление признаков.

Дигибридное скрещивание

В дальнейшем Мендель проводил исследования, используя *дигибридное* скрещивание, т. е. учитывал наследование двух признаков (рис. 105). В этом случае он обратил внимание не только на цвет семян гороха, но и на их форму, которая может быть либо гладкой, либо морщинистой. Ему удалось показать, что оба эти признака наследуются независимо, т. е. наследование цвета семян никак не связано с наследованием их формы. Эта закономерность получила название ***закона независимого расщепления*** или ***третьего закона Менделя.***

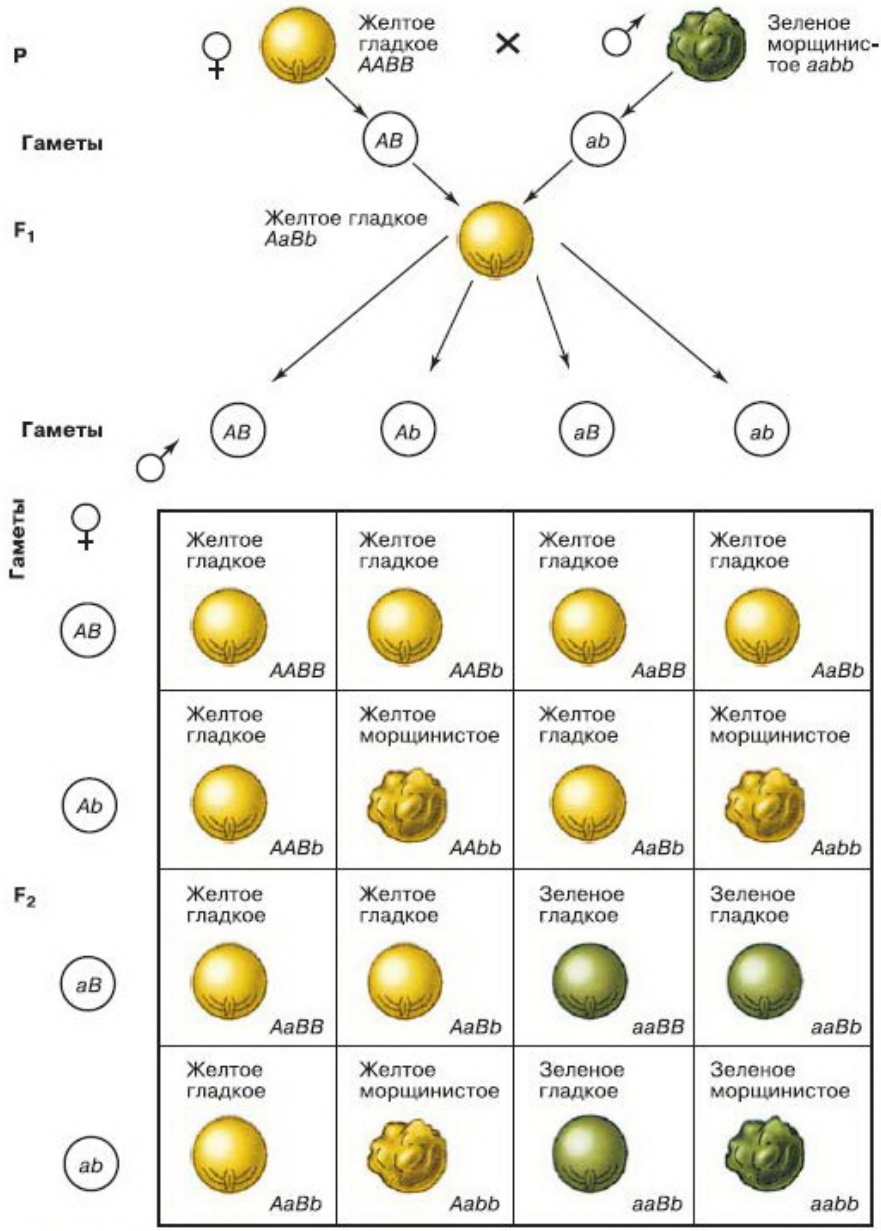


Рис. 105. Наследование признаков при дигибридном скрещивании

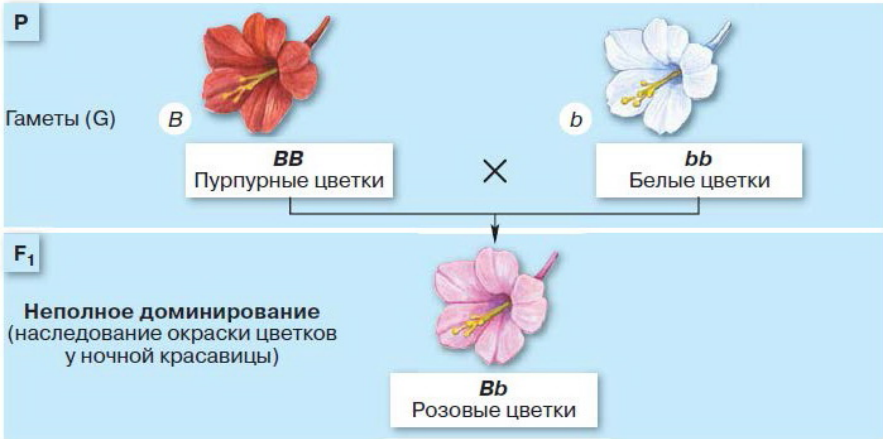


Рис. 106. Схема взаимодействия аллелей при неполном доминировании

Отклонения от законов Менделя

Однако, как показали дальнейшие исследования, этот закон соблюдается не во всех случаях. Иногда признаки передаются сцепленно друг с другом. Выяснилось также, что не все закономерности, открытые Менделем, имеют всеобщий характер. Так, например, было показано, что во многих случаях не проявляется абсолютное доминирование одного гена над другим, а имеет место так называемое *промежуточное наследование,* или *неполное доминирование.* Например, иногда при скрещивании некоторых растений, имеющих красные цветки, с тем же видом, имеющим белые цветки, в первом поколении цветки получаются розовыми – происходит неполное подавление рецессивного признака доминантным (рис. 106).

Проверьте свои знания

1. В чём заключается гибридологический метод?
2. Что такое генотип и фенотип? Опишите фенотип вашего товарища по классу. А сможете ли вы описать его генотип?
3. Какие гены называют аллельными? Может ли у человека быть более двух аллелей одного гена? Объясните свою точку зрения.
4. Чем различаются доминантные и рецессивные признаки? Приведите примеры известных вам доминантных признаков у

человека. Если необходимо, воспользуйтесь дополнительными источниками информации.

5. Какое скрещивание называют моногибридным?

Задания

Рассмотрите схему наследования признаков при дигибридном скрещивании. Сколько фенотипических классов и в каком соотношении получено в этом скрещивании? Какие генотипы соответствуют каждому фенотипическому классу? Рассчитайте, каким будет расщепление по каждому признаку отдельно.

§ 34 Хромосомная теория наследственности

Всё в хромосомах дело, и в них таится волшебство. Два разных пола – две разные у каждого проблемы. И для одних машинки в детстве – просто божество. Других от кукол не отнять, что с ними ты ни делай.

Игорь Охрименко

Установив свои законы наследственности, Мендель намного опередил своё время. На его работы не обратили никакого внимания, они были забыты и вновь обнаружены в начале прошлого века, когда строение клетки и её ядра стало гораздо яснее. Были открыты митоз и мейоз, и постепенно сложилось представление о том, что факторы наследственности, которые в 1909 г. датский ботаник Вильгельм Йохансен назвал генами, располагаются в хромосомах. А поскольку было известно, что в каждой клетке генов значительно больше, чем хромосом, встал вопрос, каким образом гены в хромосомах размещаются. Ответ на этот вопрос был получен в 1911 г. в результате работ американского биолога Томаса Ханта Моргана (1866–1945) (рис. 107).

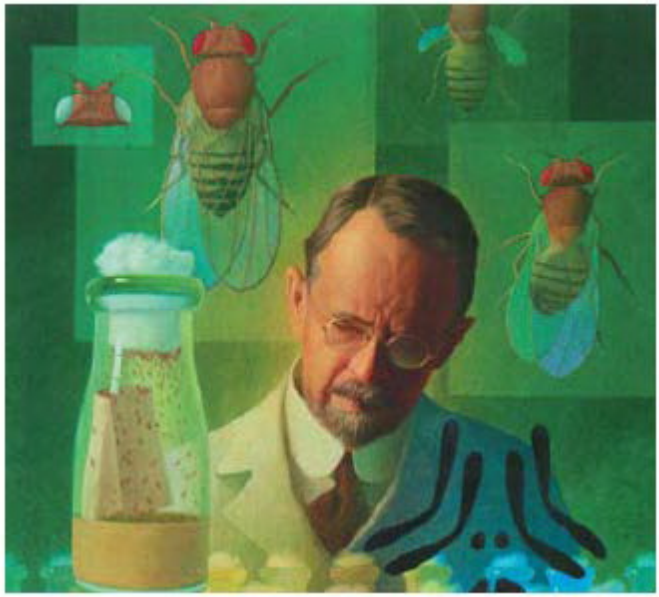


Рис. 107. Т. Морган

Работа Т. Х. Моргана

Моргану удалось найти очень удачный объект для генетических исследований. Этим объектом оказалась дрозофила – небольшая муха, которую всегда можно увидеть, если оставить на столе на некоторое время блюдо с фруктами. Поэтому её ещё часто называют фруктовой мушкой. Преимущество использования дрозофилы в генетических исследованиях состоит в том, что, во-первых, она очень быстро размножается (каждые 14 дней образует новое поколение), а во-вторых, обладает большим набором альтернативных наследуемых признаков, что чрезвычайно удобно при использовании гибридологического метода.

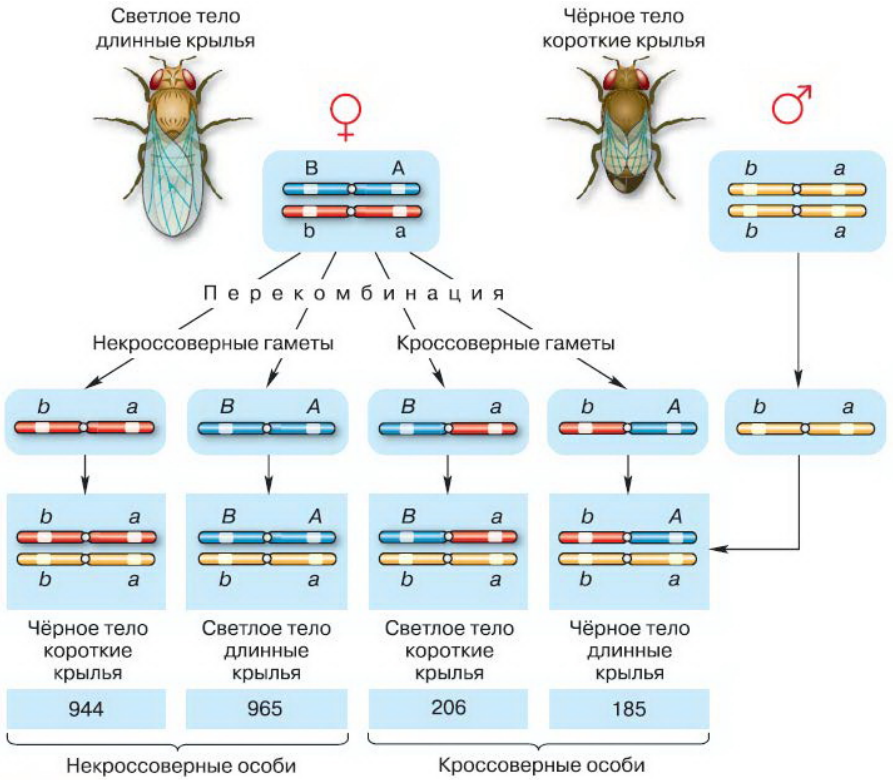


Рис. 108. Схема опыта Т. Моргана

Морган проводил дигибридное скрещивание (рис. 108). Одна чистая линия мух имела серое тело и длинные крылья (доминантные признаки), а вторая – чёрное тело и зачаточные крылья (рецессивные признаки). В первом поколении, как и предполагалось, все мухи обладали серым телом и длинными крыльями, т. е. проявлялись только доминантные признаки. А вот при скрещивании гибридов первого поколения закон независимого расщепления оказался грубо нарушен. Большинство гибридов второго поколения сочетали в себе оба признака либо «дедушки» (серое тело и длинные крылья), либо «бабушки» (чёрное тело и зачаточные крылья). Сочетания, не встречавшиеся у предков (Морган назвал их рекомбинациями), встречались гораздо реже. Такие признаки, расщепление которых происходит реже, чем это следует из менделевских законов, Морган назвал *сцепленными.*

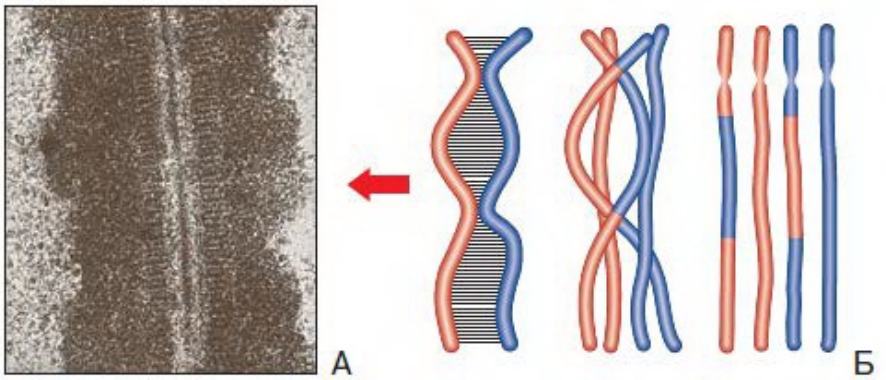


Рис. 109. Нарушение сцепления генов в результате кроссинговера: А – электронная фотография; Б – схема

Было высказано предположение, что те гены, которые наследуются сцепленно, находятся в одной хромосоме. Все гены, расположенные в одной хромосоме, образуют ***группу сцепления.*** Таким образом, сколько пар хромосом имеет данный организм, столько групп сцепления генов у него имеется. У человека, например, каждая клетка имеет 23 пары хромосом и, следовательно, 23 группы сцепления, а у дрозофилы таких групп всего четыре. Во время мейоза, как вам известно, гомологичные хромосомы расходятся к разным полюсам вновь образующихся клеток. При этом к одному полюсу может отойти хромосома, полученная от отца с набором отцовских аллелей, в то время как к другому полюсу переместится материнская хромосома. Признаки, существовавшие у каждого из родителей, останутся сцепленными и не будут сочетаться с признаками, характерными для другого родителя.

Чисто умозрительно вообразим в качестве примера, что гены, определяющие длину пальцев и длину носа, сцеплены, т. е. находятся в одной хромосоме. Тогда, если дедушка был длинноносым и короткопалым, а бабушка коротконосой и длиннопалой, то следует ожидать, что внуки будут сочетать в себе либо оба признака дедушки, либо оба признака бабушки.

Однако такое сцепление наблюдается хотя и часто, но не всегда. Как мы видим из опытов Моргана, иногда могут рождаться и дрозофилы с серым телом и зачаточными крыльями, или наоборот. У наших дедушки и бабушки иногда может родиться длинноносый внук с длинными пальцами. Такой процесс называют ***нарушением сцепления*** или ***рекомбинацией.*** Случается он в результате того, что во время мейоза иногда происходит *кроссинговер* – обмен участками гомологичных хромосом (рис. 109). При этом хромосома, полученная от отца

(будущего дедушки), может обменяться с участком хромосомы, полученной от матери (будущей бабушки). Например, хромосома, содержащая ген длинноносости, может прихватить участок чужой хромосомы с геном длиннопалости. В результате родится ребёнок с нетрадиционным сочетанием признаков, т. е. рекомбинантная особь.

Таким образом, Моргану удалось доказать, что гены находятся в хромосомах, наследуются сцепленно, но иногда в результате обмена участками хромосом это сцепление нарушается. Причём гены в хромосоме расположены не как попало, а в строго определённом линейном порядке. Каждый ген занимает в хромосоме строго определённое место, называемое локусом. Это положение в течение долгого времени пытались оспорить. Тем не менее это положение доказывалось тем, что частота рекомбинации каждой пары признаков всегда одинакова. Следовательно, она зависит от расстояния между генами. Это позволяет составлять генетические карты хромосом исходя из того, что чем дальше друг от друга находятся гены, тем чаще будет нарушаться их сцепление. Мала вероятность, что перекрёст хромосом и обмен гомологичными участками произойдёт между близко расположенными генами.

Рис. 110. Половые хромосомы человека: *X* и *Y* (электронная фотография)

Половые хромосомы

Мы уже говорили о том, что в соматической клетке организма каждая хромосома имеет свою пару, т. е. гомологичную ей хромосому. Однако для одной пары хромосом существует исключение. Это так называемые *половые хромосомы,* которые бывают двух видов – *X* и *Y* (рис. 110). Эти хромосомы определяют пол организма. Остальные 44 хромосомы (22 пары), одинаковые у мужчин и женщин, называются *аутосомами.*

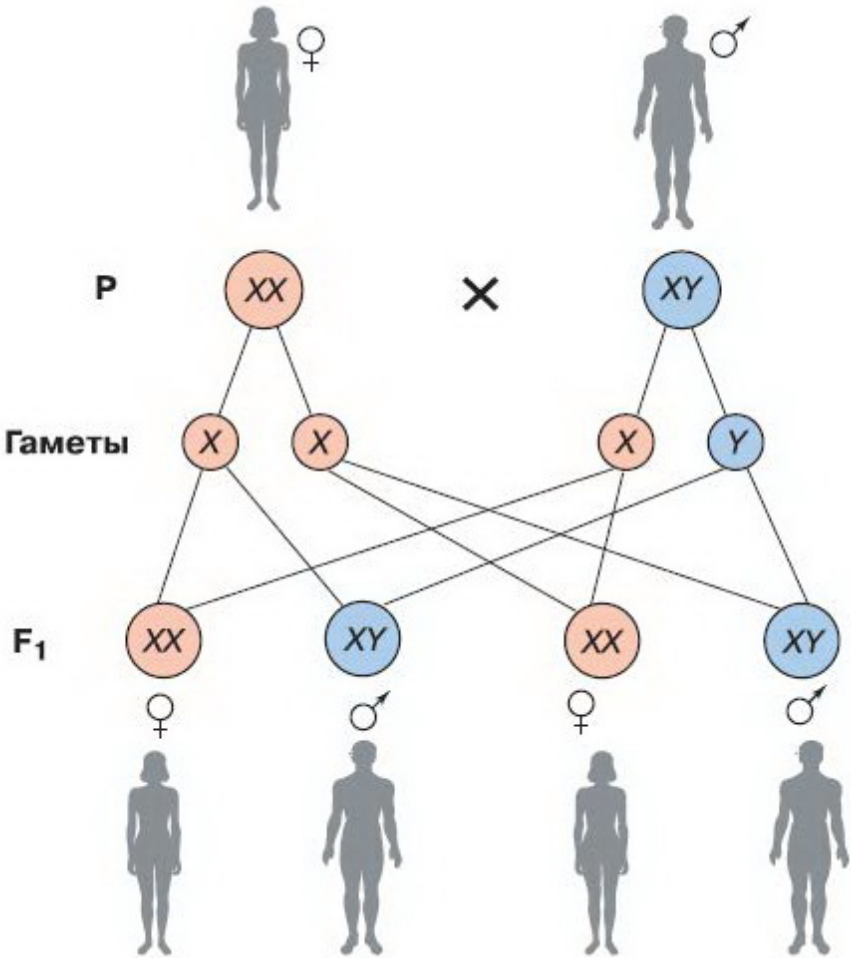


Рис. 111. Расщепление по признаку пола у человека

У человека, как и у многих других животных, женский пол имеет пару *XX,* а мужской – *XY.* Следовательно, каждая яйцеклетка содержит одну Х-хромосому, а сперматозоид – либо *X*-, либо *Y*-хромосому. Если яйцеклетка оплодотворяется сперматозоидом с *X*-хромосомой, потомок будет иметь женский пол, а если с *Y*, – то мужской (рис. 111). Поэтому существует

такое понятие, как наследственность, сцепленная с полом. Если какой-либо ген находится в аутосоме, то он может передаться потомству равновероятно и от отца, и от матери. Если же этот ген расположен в половой хромосоме, то пол родителя играет в наследовании принципиальную роль.

Например, гены, находящиеся в *X*-хромосоме, девочка может получить от обоих родителей, а гены, расположенные в Y-хромосоме, может получить только мальчик и только от отца. К дочери *Y*-хромосома не попадает никогда. С этим обстоятельством связаны особенности наследования некоторых генетических заболеваний, о которых вы узнаете позднее.

Проверьте свои знания

1. В каком году появился термин «ген»?
2. Что такое группа сцепления генов?
3. Почему иногда происходит нарушение сцепления генов?
4. Как определяется пол человека?

§ 35 Изменчивость и её виды

Братья ничем не походили друг на друга и никогда не дружили… А когда выросли, трудно было поверить, что это близнецы. Исав был приземист и широкоплеч, всё тело у него было покрыто рыжими волосами. Он был смел, задирист, любил грубоватые шутки и охотно мерялся силой с домочадцами.

…Иаков между тем был совсем другим человеком. Он всегда ступал по проторённым дорожкам, помогал по хозяйству, был образцовым, трудолюбивым и покорным сыном. Исав считал его простачком и относился к нему с некоторым пренебрежением. Он не подозревал, как сообразителен и хитёр этот маменькин сынок.

Зенон Косидовский.
Библейские сказания

Все организмы одного вида в чём-то похожи друг на друга. Тем более похожи животные, принадлежащие к одной породе, или растения, принадлежащие к одному сорту. Ещё большее сходство обнаруживают дети с родителями и дети одних родителей между собой. Это объясняется тем, что чем более близким родством связаны организмы, тем больше у них общих генов. Тем не менее двух совершенно одинаковых организмов в природе не существует. Связано это с тем, что помимо наследственности существует и такое явление, как изменчивость, которая тоже является объектом генетических исследований.

Изменчивость бывает двух видов. Признаки, определяющие модификационную, или фенотипическую, изменчивость, приобретаются под влиянием факторов внешней среды и не передаются по наследству. Другой вид изменчивости называют наследственной или генотипической. Она связана с изменениями генотипа, и признаки, приобретённые вследствие этого, передаются по наследству следующим поколениям.

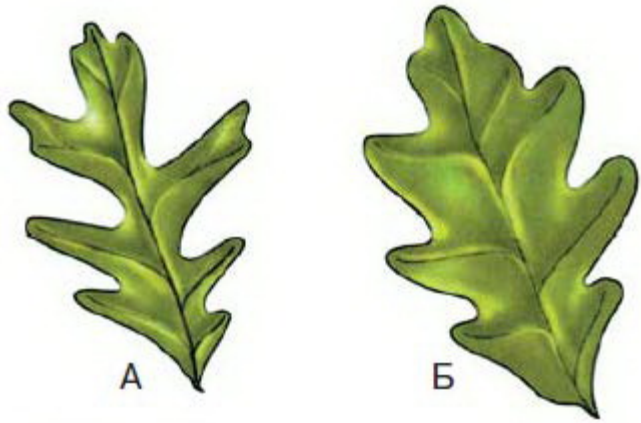


Рис. 112. Листья дуба, выросшие при яркой освещённости (А) и в затенённом месте (Б)

Модификационная (ненаследственная) изменчивость

Модификационная изменчивость может значительно изменять внешний вид и функции организма в зависимости от условий его существования, к которым могут относиться питание, влажность, температура, физические нагрузки и пр. Часто даже монозиготные близнецы, т. е. люди, развившиеся из одной зиготы, оказываются совершенно непохожими друг на друга, несмотря на то что их генотипы абсолютно одинаковы. Представители одной и той же породы домашних животных могут разительно отличаться друг от друга по размеру, удою, длине шерсти, яйценоскости и другим признакам в зависимости от условий, в которых они выращиваются. То же самое относится и к растениям. Потомство одного и того же дерева может быть высоким или низким, крупнолистным или мелколистным, обильно плодоносить или не плодоносить вовсе – в зависимости от того, на какой почве и при какой температуре и влажности выросли их саженцы (рис. 112). Тем не менее эти различия имеют определённые пределы. Самый голодный ризеншнауцер никогда не может быть меньше самого перекормленного пекинеса. Эти пределы, в которых возможно изменение фенотипа при данном генотипе, называют *нормой реакции.* Норма реакции, в отличие от самой модификационной изменчивости, передаётся по наследству. Тот же ризеншнауцер является представителем породы крупных собак, а пекинес – мелких. И все потомки ризеншнауцера будут относительно крупными, а потомки

пекинеса – мелкими. Если мужчина увлекается культуризмом и в результате этого приобретает огромную физическую силу, это не означает, что его сын от рождения будет сильным. Но если на протяжении многих поколений все мужчины одного рода рождаются физически сильными, то, скорее всего, их потомки тоже будут обладать большой физической силой.

Генотипическая (наследственная) изменчивость

Существует две формы наследственной изменчивости – комбинативная и мутационная.

Комбинативная изменчивость заключается в появлении новых признаков в результате образования иных комбинаций генов родителей в генотипах потомков. При этом никаких изменений генов не происходит. Существует несколько причин комбинативной изменчивости.

Независимое расхождение хромосом во время мейоза. Как вы знаете, в анафазе первого деления мейоза гомологичные хромосомы расходятся к разным клеточным полюсам и в дальнейшем оказываются в разных гаметах.

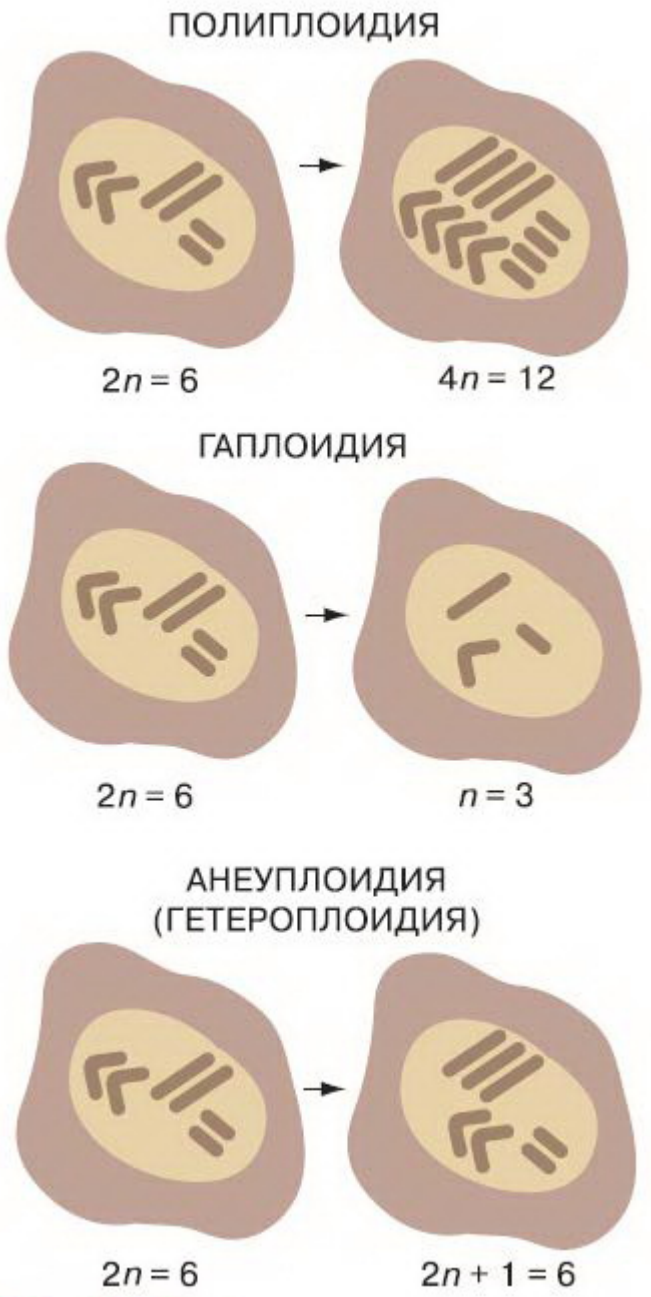


Рис. 113. Полиплоидия на уровне клетки

При этом в образовавшейся гамете какими-то хромосомами будут те, что достались от отца, а какими-то – те, что достались от матери. Сочетание тех и других зависит от чистой случайности, и поэтому гаметы, образовавшиеся из одной и той же исходной клетки, будут различными.

Обмен участками хромосом при мейозе. Обмен участками гомологичных хромосом в первой профазе мейоза может привести к тому, что папина хромосома прихватит участок маминой, и наоборот. Какими участками обменяются родительские хромосомы – дело случайное, а поэтому точный состав гамет непредсказуем.

Случайная встреча гамет при оплодотворении. У многих животных одновременно созревает много яйцеклеток, которые встречаются с большим количеством сперматозоидов. Генотип будущего организма зависит от того, какой сперматозоид какую яйцеклетку оплодотворит, и этот процесс также является случайным, что приводит к многообразию потомства.

При ***мутационной изменчивости*** меняется структура хромосом и генов, что может привести к появлению новых признаков.

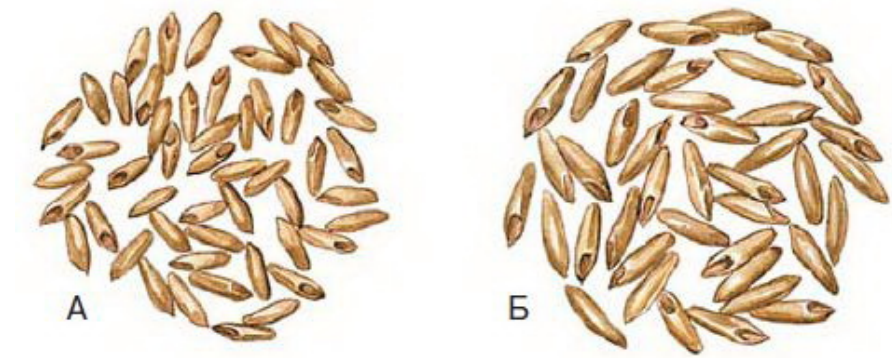


Рис. 114. Семена ржи: А – диплоидный сорт (2n = 14); Б – тетраплоидный сорт (2n = 28)

Впервые термин «мутация» ввёл в 1901 г. ботаник Гуго де Фриз. Согласно современным представлениям, *мутации* – это внезапные естественные или вызванные искусственно наследуемые изменения генетического материала, приводящие к изменению тех или иных фенотипических признаков и свойств организма. По уровню изменения генетического материала различают геномные, хромосомные и генные мутации. При *геномных мутациях* изменяется число хромосом, причём иногда целыми гаплоидными наборами. В результате клетка, вместо того чтобы быть диплоидной, становится триплоидной, тетраплоидной или содержит ещё большее число наборов хромосом (рис. 113). Это явление называют *полиплоидией.* У животных оно встречается очень редко, так как препятствует половому размножению. Зато у растений, особенно у культурных, полиплоидия – довольно обычное явление (рис. 114). Многие сорта растений, которые мы

повседневно употребляем в пищу, являются полиплоидами. Иногда число хромосом изменяется на 1–2 штуки. Отсутствие хромосомы или наличие лишней приводит к серьёзным нарушениям в работе организма. Наиболее известным примером геномной мутации является болезнь Дауна, которая связана с появлением в геноме человека одной лишней хромосомы. При этой болезни страдают умственные способности и уменьшается продолжительность жизни человека.

Хромосомные мутации изменяют структуру отдельных хромосом, приводя к нарушению функционирования сразу многих генов. Участок хромосомы может разрушиться или, наоборот, удвоиться, может перевернуться на 180° или переместиться в другое место той же или другой хромосомы. Всё это серьёзно влияет на состояние организма вплоть до невозможности развития зародыша уже на ранних стадиях.

Генные мутации имеют те же особенности, что и хромосомные, но только возникают они не на крупных участках хромосом, а на уровне отдельных нуклеотидов. Может добавиться или утратиться какой– нибудь нуклеотид, либо нуклеотиды могут поменяться местами. Часто при этом ген приходит в полную негодность, так как начинает синтезировать совсем не тот белок, который требуется. Например, при утере всего одного первого нуклеотида последовательность в ДНК, которая должна читаться как АГГ ЦТА АГЦ ТАТ ЦАГ, будет считываться как ГГЦ ТАА ГЦТ АТЦ АГ… что, как легко понять, приведёт к синтезу совершенно другого белка.

По месту возникновения различают соматические и генеративные мутации. Соматические мутации возникают в клетках тела и при половом размножении не передаются следующему поколению. Как правило, их последствия ограничиваются изменениями в определённой клетке, которая при этом часто погибает. Исключение составляют мутации, ведущие к развитию опухолей, в том числе злокачественных, которые представляют опасность для всего организма. Соматические мутации могут передаваться потомству только при вегетативном размножении. Генеративные мутации возникают в половых клетках, наследуются и могут сохраняться у потомства на протяжении многих поколений. Внешне они проявляются редко, так как большинство мутантных аллелей являются рецессивными. Для того чтобы такая мутация проявилась в фенотипе, требуется, чтобы она оказалась в гомозиготном состоянии, а для этого необходима встреча двух носителей таких мутаций.

Мутагенные факторы

Способность мутировать – это одно из свойств генов, поэтому мутации могут возникать у всех организмов. Одни мутации несовместимы с жизнью, и получивший их эмбрион гибнет ещё в утробе матери, другие вызывают стойкие изменения признаков в разной степени значимых для жизнедеятельности особи. В обычных условиях частота мутирования отдельного гена чрезвычайно мала (10^{-5}), но существуют факторы среды, значительно увеличивающие эту величину и вызывающие необратимые нарушения в структуре генов и хромосом. Факторы, воздействие которых на живые организмы приводит к увеличению числа мутаций, называют *мутагенными факторами* или *мутагенами.*

Все мутагенные факторы можно разделить на три группы.

К ***физическим мутагенам*** относятся все виды ионизирующих излучений (γ-лучи, рентгеновские лучи), ультрафиолетовое излучение, высокая и низкая температура.

Химические мутагены – это аналоги нуклеиновых кислот, перекиси, соли тяжёлых металлов (свинца, ртути), азотистая кислота и некоторые другие вещества. Многие из этих соединений вызывают нарушения в редупликации ДНК. Мутагенное действие оказывают вещества, используемые в сельском хозяйстве для борьбы с вредителями и сорняками (пестициды и гербициды), отходы промышленных предприятий, отдельные пищевые красители и консерванты, некоторые лекарственные препараты, компоненты табачного дыма.

К группе ***биологических мутагенов*** относятся чужеродная ДНК и вирусы, которые, встраиваясь в ДНК хозяина, нарушают работу генов.

Проверьте свои знания

1. Что такое норма реакции? Известно, что ширина нормы реакции существенно отличается у разных признаков. Предположите, какие признаки обладают наиболее узкой нормой реакции и почему.
2. Назовите причины комбинативной изменчивости.
3. Что такое мутации? Попробуйте выделить и охарактеризовать основные свойства мутаций.
4. Какие факторы внешней среды могут увеличивать вероятность мутаций?

Задания

1. Если у вас или ваших знакомых есть братья или сёстры примерно одного возраста (лучше, если они близнецы), постарайтесь подметить сходства и различия в их внешнем виде, характерах, вкусах и привычках.

2. Попробуйте объективно оценить свой образ жизни. Подвержен ли ваш организм действию мутагенных факторов? Можете ли вы снизить влияние этих факторов?

3. Подготовьте доклад или презентацию на тему «Наследственные аномалии человека, обусловленные генными, хромосомными или геномными мутациями. Причины роста числа наследственных аномалий в человеческой популяции».

Ваша будущая профессия

1. Как вы считаете, помогут ли вам в жизни знания и умения, полученные при изучении материала этой главы? Ответ обоснуйте.

2. Какие профессии в современном обществе требуют знания систематики и жизнедеятельности организмов разных таксонов животного и растительного царств?

3. Используя дополнительные источники информации, выясните, что является предметом изучения микологов, альгологов, лихеонологов. Почему эти специалисты участвуют в реставрационных работах?

4. По мнению учёных, если XX век был веком генетики, то XXI век будет веком геномики. Выясните, что является предметом изучения науки геномики.

Строение и деятельность живых систем. Популяции и экологические системы

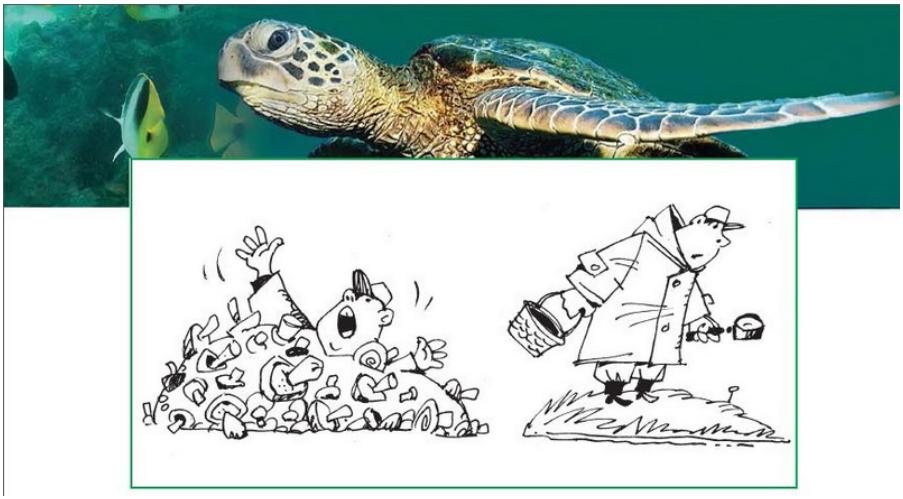
§ 36 Экология и экологические факторы

Вот экология – модное слово,
Раньше природа не знала такого,
Банки, бутылки в кусты не бросали,
В реку отходы и нефть не сливали.

Марк Львовский

Если мы отправимся на прогулку в лес, поле или на поляну, если мы нырнём в озеро или реку, мы никогда не увидим там один-единственный живой организм. В одиночку животных можно увидеть только в зоопарке. Да и то это только так кажется. На теле зверей и птиц всегда обитают паразиты, в углах вольера прячутся мыши с целью добыть немного объедков, через решётку залетают воробьи, да и посетители зоопарка значительно влияют на жизнь его обитателей.

Природа же представляет собой перенаселённую коммунальную квартиру, огромный дом с множеством жильцов. Эти обитатели могут помогать друг другу или мешать, ссориться или мириться, могут даже время от времени убивать друг друга, но всё равно никому из них не удаётся прожить в одиночку. Для изучения взаимоотношений различных видов организмов между собой и с окружающими их факторами неживой природы существует наука, называемая *экологией* (от греч. «ойкос» – дом, жилище). В целом экология исследует отношения организмов и их сообществ с окружающими условиями. Сам термин «экология» был предложен немецким биологом Эрнстом Геккелем (1834–1919) в 1866 г. В настоящее время этот термин получил широкое распространение, часто не имеющее никакого отношения к его первоначальному значению. Под экологией стали понимать нечто связанное с чистотой, здоровьем, благоприятностью условий жизни – в общем, скорее всё то, что принято обозначать понятием «гигиена».



Появились совершенно бессмысленные выражения, такие как «экологически чистые продукты», «экология духовности» или «в этом городе плохая экология». Следует знать, что экология – это наука и плохой она может быть только в том случае, если в местном университете её плохо преподают, точно так же как «плохой» может быть химия или математика. Продукты же могут содержать или не содержать вредные вещества, но к экологии это в любом случае отношения не имеет.

Другое дело, что в последнее время в связи с интенсивной сельскохозяйственной и промышленной деятельностью человека многие экологические факторы, остававшиеся неизменными на протяжении тысячелетий, внезапно претерпели резкие изменения. В связи с этим экологии пришлось столкнуться с новыми, ранее не существовавшими проблемами, такими как исчезновение природных ландшафтов, изменение химического состава природных водоёмов, вымирание или резкое снижение численности многих видов и пр. Поэтому экологические знания необходимы для того, чтобы учитывать воздействия со стороны человечества на природную среду и оценить, насколько можно уменьшать их последствия.

Экологические факторы

Обстановку, в которой рождаются, развиваются и обитают живые организмы, называют их *средой обитания.* Очевидно, что эта среда определяет условия жизни находящихся в ней живых существ. Эти условия называют *экологическими факторами.* Обычно рассматривают три вида этих факторов.

Абиотические факторы включают те виды воздействий, которые не связаны с деятельностью живых организмов. К ним относят температуру, освещённость, влажность, силу и направление ветра, рельеф местности, солёность и пр. Наиболее важными абиотическими факторами на суше являются свет, температура и вода (осадки), а в море – свет, температура и солёность.

Биотические факторы связаны с влиянием живых организмов друг на друга, например, хищничество, конкуренция, опыление растений насекомыми и пр. Впоследствии мы поговорим о них подробнее.

Антропогенные факторы возникают в результате деятельности человека, изменяющего среду обитания организмов или непосредственно воздействующего на некоторые виды живых существ.

Элементарной единицей, обычно рассматриваемой в экологии, является *популяция,* т. е. группа особей одного вида, свободно скрещивающихся между собой, обитающая на определённой территории и относительно изолированная от других популяций того же вида.

Действие экологических факторов

Интенсивность каждого экологического фактора влияет на условия существования данной популяции, а следовательно, на её численность. Само собой разумеется, что недостаток пищи, воды или слишком низкая температура будут способствовать снижению численности популяции и в конце концов приведут к её гибели. Тот экологический фактор, значение которого в данный период времени представляет наибольшую опасность для существования популяции, называют ***лимитирующим.*** Лимитирующим фактором может быть не только недостаток, но и избыток таких, например, факторов, как тепло, свет или вода. Следовательно, организмам свойственны как экологические минимумы, так и экологические максимумы действующих факторов, а диапазон между этими величинами принято называть ***диапазоном устойчивости.*** Эти диапазоны для каждой популяции для разных факторов могут быть различными. Так, некоторые виды могут хорошо переносить значительные изменения температуры среды, но быть очень чувствительными к недостатку или избытку воды.

Где-то в середине между крайними значениями экологического фактора находится величина, при которой

условия существования для данной популяции оптимальны, а значит, её численность достигает максимально возможного значения. Эта точка ***биологический оптимум*** для данной популяции (рис. 115). При отклонении от оптимума в ту или другую сторону численность популяции снижается.

Как правило, особенно критическим для популяции является период размножения, в это время многие факторы среды становятся лимитирующими. Диапазон устойчивости для образующегося потомства (семян, яиц, эмбрионов или личинок) обычно значительно уже, чем для взрослых растений или животных. Поэтому, например, географическое распространение многих птиц часто зависит от влияния климата на яйца или птенцов, а не на взрослых животных.

Не следует, однако, думать, что организмы являются рабами физических влияний среды, они приспосабливаются сами и изменяют условия среды так, чтобы ослабить лимитирующее влияние температуры, света, воды и других факторов среды. Процесс приспособления организмов к условиям окружающей их среды называют ***адаптацией.***

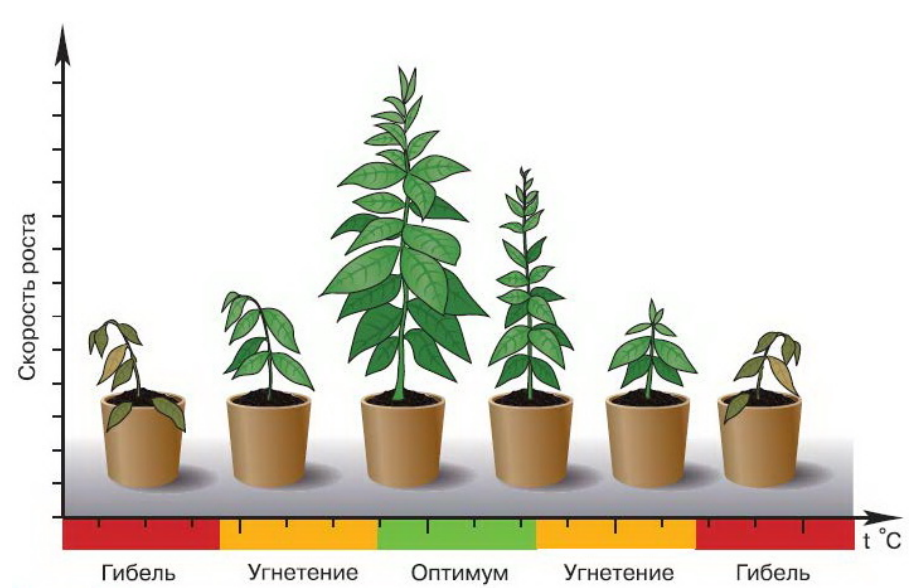


Рис. 115. Действие экологического фактора на организм

Приспособление организмов заключается и в том, что они используют естественную периодичность природных явлении для изменения ритмов своей жизнедеятельности. Одним из важных факторов, повторяющихся со строгой периодичностью, является длина светового дня. В средних широтах она может колебаться от 16 часов в июле до 8 часов в декабре. В зависимости от

продолжительности светлого времени суток изменяются сроки цветения многих растений, сроки миграции, размножения и наступления состояния покоя у животных. Снижение и даже полное прекращение активности могут происходить и у млекопитающих. Некоторые звери, например суслики или сурки, впадают в состояние *анабиоза,* при котором жизненные функции настолько снижаются, что становятся практически незаметными. Другие, такие как барсуки и медведи, могут частично сохранять активность (медведи даже размножаются в период зимней спячки), но перестают питаться и почти не покидают своих убежищ. На сезонные изменения, такие как перелёты птиц, время листопада, распускания листьев и цветения у растений, влияет также температура окружающей среды, которая, в отличие от длины светового дня, может меняться от года к году.

Проверьте свои знания

1. Что изучает экология?
2. Какие типы экологических факторов вы знаете? Как вы думаете, действие каких экологических факторов в настоящее время усиливается и почему?
3. Что такое лимитирующие факторы?
4. Какую роль играет адаптация в жизни организмов? Приведите примеры адаптации.

Задания

1. Назовите и оцените экологические факторы, которые действуют на вас в настоящий момент. Какие из них находятся в зоне оптимума?
2. Возьмите два горшка с комнатными растениями одного вида. Один поставьте на ярко освещённое место, а другой – в затенённое. Фиксируйте возникающие различия в размерах и строении этих растений в течение последующих недель. Сделайте выводы.

§ 37 Популяция – основная экологическая единица

Vox populi vox Dei («Голос народа – голос Бога»). По-латыни слово populus означает «народ». Но в качестве девиза современной экологии эту фразу можно перевести и так: «Голос популяции – голос Бога».

Как уже говорилось, элементарной экологической единицей считается популяция. В дальнейшем вы увидите, что единицей эволюции тоже является популяция. Дело в том, что при исследовании больших биологических систем в пространственном или временном аспектах нельзя принять в качестве элементарной единицы отдельный индивид. Продолжительность его жизни слишком мала, а подверженность случайным воздействиям слишком велика. Кроме того, каждый отдельный организм имеет уникальный набор генов (геном), который исчезает со смертью этого организма. В популяции же любой ген может сохраняться в течение значительного периода времени, передаваясь из поколения в поколение. При этом часть рецессивных аллелей может оставаться в течение длительного периода в скрытом состоянии и не проявляться в фенотипе, однако в некоторых случаях они могут проявить себя, оказавшись в гомозиготном состоянии, что повлияет на поведение, способность к адаптации и развитие популяции.

Основные характеристики популяции

Согласно одному известному высказыванию, популяция обладает «биологическими особенностями», которые она разделяет со всеми составляющими её организмами, и «групповыми особенностями», которые служат уникальными характеристиками группы. К последним относят рождаемость, смертность, возрастную структуру популяции и её генетическую приспособленность. Особь рождается, стареет и умирает, но в отношении особи нельзя говорить о рождаемости, смертности или возрастной структуре – эти понятия имеют смысл только на уровне группы, т. е. в популяции.

Одной из главных характеристик популяции является её *плотность* – величина по отношению к единице пространства (площади или объёму). Эту величину можно определить либо по числу особей, либо по биомассе популяции, т. е. суммарной массе всех составляющих её организмов. В зависимости от различных экологических факторов плотность может меняться, никогда при этом не выходя за определённые пределы. Так, в лесу может жить в среднем 100 птиц на 1 га и 20 тыс. почвенных членистоногих на 1 м^2, но никогда не бывает 20 тыс. птиц на 1 м^2 и всего 100 членистоногих на 1 га. Изменение плотности популяции может быть монотонным или периодическим. При монотонном росте численность популяции и её плотность либо непрерывно растут, если условия существования благоприятны, пока не достигнут максимальной величины, либо непрерывно снижаются в результате ухудшения условий существования, что в конечном счёте может привести к гибели популяции.

Динамика численности (или плотности) популяции зависит от ***соотношения рождаемости и смертности*** в ней. Рождаемость отражает способность популяции к увеличению и характеризует появление новых особей. *Максимальная (абсолютная) рождаемость* – это образование максимально возможного числа новых особей в идеальных условиях, когда отсутствуют лимитирующие факторы среды. Эта характеристика связана только с физиологическими возможностями организма. Понятие *«экологическая рождаемость»* (или просто рождаемость) означает увеличение популяции в конкретных экологических условиях и отражает реальный прирост численности популяции. Смертность характеризует гибель особей в популяции. Точно так же, как и рождаемость, *смертность* может быть *экологической,* определяющей гибель особей в данных условиях среды, и *минимальной,* которая проявляется в идеальных условиях и зависит только от естественной продолжительности жизни данного вида.

Важной характеристикой популяции является её ***возрастная структура*** (рис. 116). Она отражает соотношение различных возрастных групп в популяции, следовательно, определяет её способность к размножению в данный момент и показывает, что можно ожидать от этой популяции в будущем. Нужно, однако, обратить внимание на то, что возрастная структура популяции не всегда непосредственно связана с соотношением рождаемости и смертности. Дело в том, что каждое животное проходит через возрастные периоды, когда оно *ещё* не способно размножаться, когда оно *способно* размножаться и когда оно *уже* не способно размножаться. Соотношение этих периодов у разных видов может

быть различным. Так, если у человека они примерно равны между собой, то некоторые насекомые проводят подавляющую часть своей жизни в состоянии личинки, которая не может размножаться. Например, насекомое подёнка живёт в личиночном состоянии до трёх лет, а во взрослом, когда она может летать и размножаться, – всего несколько дней (рис. 117). Поэтому при рассмотрении возрастной структуры популяции надо учитывать продолжительность возрастных периодов у данного вида животных.

Периодические изменения численности популяции

Практически любая популяция подвержена периодическому изменению своей численности (рис. 118).

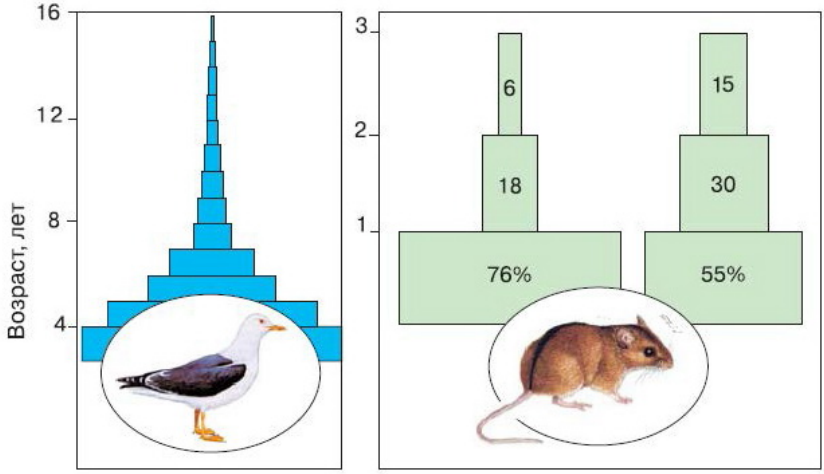


Рис. 116. Возрастные структуры некоторых популяций

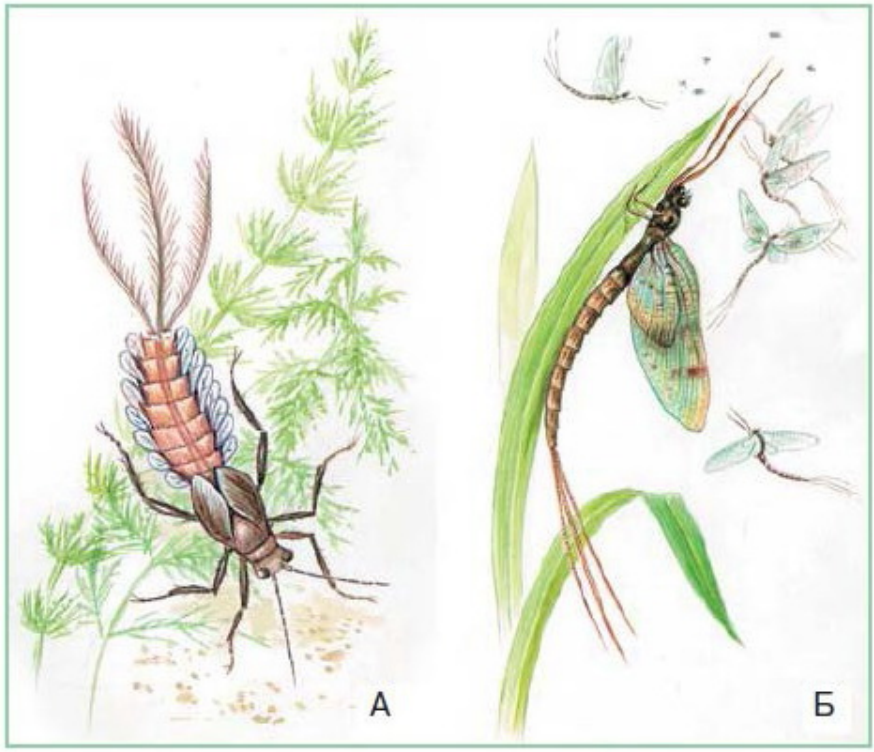


Рис. 117. Подёнка: личинка (А) и взрослое насекомое (Б)

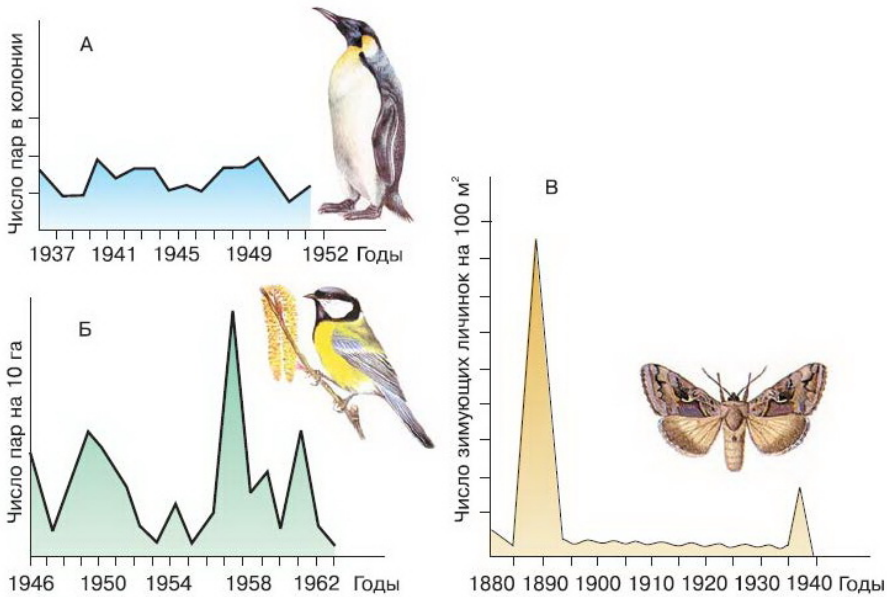


Рис. 118. Типы популяционной динамики: А – стабильный; Б – изменчивый; В – взрывной

Чаще всего это бывает связано с сезонными изменениями климата, которые сопровождаются сменой температурного или водного режима, а также недостаточностью или избыточностью пищевых ресурсов. В некоторых случаях, связанных с миграциями животных, численность их популяции в определённое время года может упасть до нуля: так, зимой в средних широтах вы не встретите ни одной кукушки, а летом – ни одного снегиря (разве что в зоопарке). В природе постоянно встречаются колебания численности с периодом более одного года. Некоторые из них объясняются взаимодействиями популяций хищника и жертвы, которые мы рассматривали в 10 классе. Напомним, что если на какой-то территории обитают зайцы и лисы, то при обилии зайцев численность лисиц начинает увеличиваться, так как они имеют достаточное количество пищи. Но когда лисицы размножатся в достаточном количестве, численность зайцев начнёт сокращаться, так как их будут постоянно съедать. Когда же зайцев останется мало, лисицы начнут вымирать от голода, что вскоре приведёт к росту численности зайцев. Процесс может продолжаться бесконечно. Подобные циклические колебания с равными трёх-четырёхлетними периодами характерны, например, для мышевидных грызунов и питающихся ими сов. Всем известно, что бывают грибные и не грибные годы, всем знакомо выражение типа «яблоки в этом году просто не знаю куда и девать».

Эти колебания связаны с погодными условиями, но иногда имеют и другие, более сложные причины.

Интересно, что во многих случаях животные умеют активно бороться с перенаселением. Иногда в тех случаях, когда плотность популяции достигает критического значения, у некоторых животных «отказывает» репродуктивная система, матери перестают кормить новорождённых детёнышей или даже убивают и съедают их. Такие случаи служат примером отрицательной обратной связи для регуляции численности

популяций. Было показано, что при нормальных условиях в популяции всегда наблюдается тенденция к установлению стабильной возрастной структуры. Если это стабильное состояние из-за временного притока или оттока особей в другую популяцию нарушается, то при восстановлении нормальных условий возрастная структура вновь будет стремиться достигнуть прежнего состояния.

Проверьте свои знания

1. Почему популяция считается основной экологической единицей?
2. Что такое динамика численности популяции?
3. Сравните максимальную и экологическую рождаемость. В чём различие между ними?
4. Каковы причины периодических колебаний численности популяции?

Задания

1. Сравните изменения численности хорошо известных вам популяций за последние 2–3 года (например, урожай грибов или ягод в лесу, овощных или плодовых культур в саду или огороде).
2. Дайте определение половой структуры популяции. Подумайте, у каких популяций половая структура не определяется. С чем это связано?

§ 38 Сообщества и экологические системы

У птиц и зверьков в лесу есть свои этажи: мышки живут в корнях – в самом низу; разные птички, вроде соловья, вьют свои гнёздышки прямо на земле; дрозды – ещё повыше, на кустарниках; дупляные птицы – дятел, синички, совы – ещё повыше; на равной высоте по стволу дерева и на самом верху селятся хищники: ястреба и орлы. Мне пришлось однажды наблюдать в лесу, что у них, зверушек и птиц, с этажами не как у нас в небоскрёбах: у нас всегда можно с кем– нибудь перемениться, у них каждая порода живёт непременно в своём этаже.

М. Пришвин. Этажи леса

Ни одна популяция в природе не существует независимо от других. Какую бы малую территорию мы ни взялись исследовать, мы всегда обнаружим на ней большое число видов, принадлежащих ко всем четырём царствам живого мира – бактерии, растения, грибы и животные. Совокупность всех популяций, обитающих на данной территории и находящихся в постоянном взаимодействии друг с другом, называют ***сообществом*** или ***биоценозом*** (рис. 119). Если к биоценозу добавить все абиотические факторы, действующие на эти организмы, то мы получим экологическую систему **—** *экосистему.* Примером экосистемы может служить болото с его характерным рельефом, кочками и заполненными водой впадинами, периодически покрываемыми льдом и снегом, огромной массой бактерий, растущими на кочках грибами – от плесневых до шляпочных, мхом с находящимся под ним слоем торфа, различными червями, членистоногими, земноводными и обитающими на этом болоте птицами.

Все эти организмы вместе с факторами неживой природы находятся в теснейшей взаимосвязи и образуют сложнейшую систему с множеством прямых и обратных связей. Интересно, что экосистема не имеет чётких границ, отделяющих её от другой экосистемы, часть экосистемы – это тоже экосистема. Мы можем

рассматривать в качестве экосистемы то же болото, а можем – пень, стоящий посреди этого болота. Он тоже будет обладать сложнейшей структурой отношений между живущими в нём организмами – бактериями, грибами, насекомыми, червями и прочими, и эту структуру можно исследовать независимо от окружающей этот пень среды. Часто в общей экологии рассматривают крупные экосистемы, обладающие ярко выраженными и хорошо различимыми признаками. Например, можно говорить об экосистеме тайги, лиственного леса, тундры, лесостепи и др. Такие экосистемы, имеющие чётко выраженные границы распространённости, называют ***биогеоценозами.***

Несмотря на то что в пределах экосистемы на одной и той же территории обитает множество популяций, каждая из них строго адаптирована к определённым условиям существования.

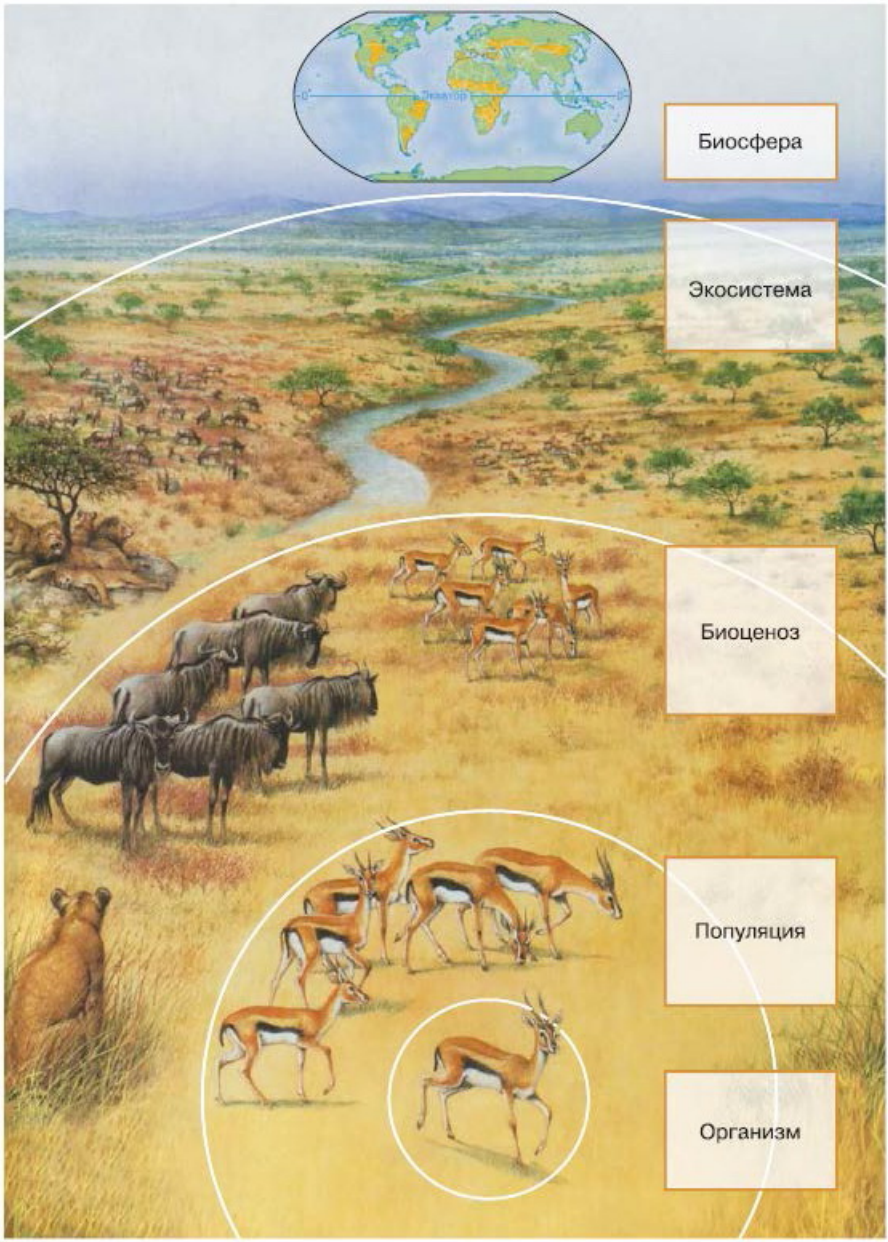


Рис. 119. Уровни организации живой природы

Совокупность этих условий для данной популяции называют её *экологической нишей.* Часто говорят, что экологическая ниша организма в экосистеме определяется его «адресом», «профессией» и «стилем жизни». Ни в одной экологической нише не могут существовать более одного вида организмов (принцип конкурентного исключения Гаузе). Существует и обратное правило: пустующая ниша обязательно будет заполнена.

Популяции, занимающие одни и те же экологические ниши, никогда не смогут ужиться на одной территории. В своё время в Европе повсеместно была распространена чёрная крыса, однако в середине XVII в. огромная стая серых крыс (пасюков) переплыла Волгу и вскоре основательно потеснила своего чёрного собрата, поскольку их экологические ниши в значительной степени совпадали. Точно так же завезённый из Германии в Россию рыжий таракан значительно сузил область распространения своего чёрного родственника (рис. 120).

Структура экосистемы. В соответствии с числом и расположением экологических ниш популяций можно охарактеризовать структуру экосистемы.

Видовая структура определяется количеством и соотношением численности видов, входящих в данное сообщество. При этом можно учитывать либо число особей каждого вида, либо их биомассу. Обычно в сообщество входит множество относительно малочисленных видов и сравнительно немного видов, общая численность и биомасса которых велика. Для характеристики состояния экосистемы большое значение имеет её видовое разнообразие.

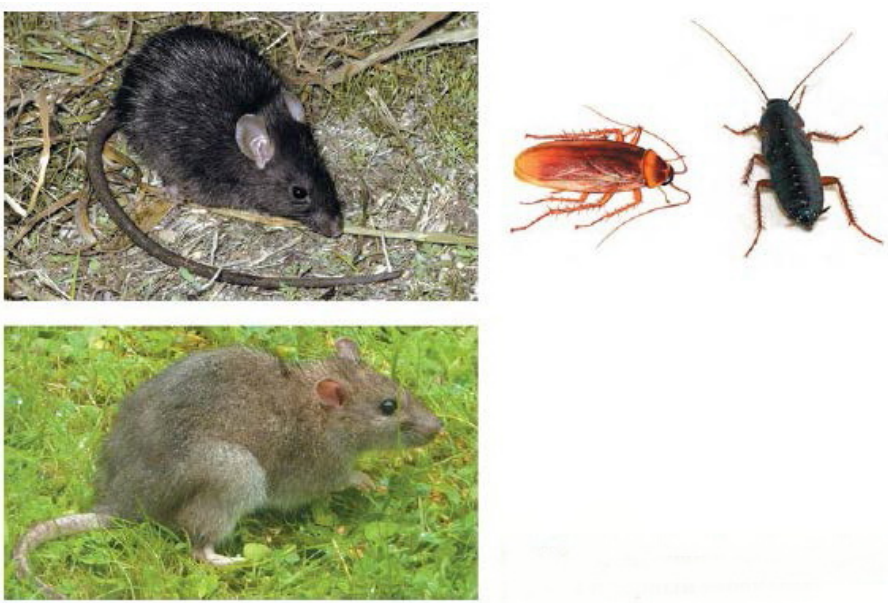


Рис. 120. Чёрная и серая крысы; рыжий и чёрный тараканы

В благоприятных условиях может существовать большое количество экологических ниш, которые заселяются многочисленными видами. Чем больше видовое разнообразие, тем больше у системы возможностей адаптации к изменяющимся

условиям, тем больше её устойчивость. В дальнейшем мы увидим, что искусственные, создаваемые человеком системы, где специально поддерживается очень низкое видовое разнообразие, обладают крайне малой устойчивостью.

Второй важной структурной характеристикой экосистемы является её ***пространственная структура***, т. е. особенности заселения различными популяциями территории, занимаемой экосистемой. В основном эта структура определяется растительными сообществами. Пространственная структура имеет горизонтальную и вертикальную составляющие. В качестве примера можно взять пруд или лес. В первом горизонтальной составляющей будет служить отдалённость интересующего нас участка от берега, а вертикальной – его глубина. Во втором случае горизонтальной компонентой будет считаться отдалённость участка от окраины леса, наличие в нём полян и зарослей, а горизонтальной – его высота над поверхностью земли (или глубина под ней). От этих факторов зависят абиотические условия (освещённость, температура, влажность), а они, в свою очередь, определяют характер экологической ниши, пригодной для заселения тем или иным видом.

Вертикальную составляющую пространственной структуры экосистемы называют *ярусностью*. Наиболее отчётливо она проявляется в лесных экосистемах, где можно выделить подземных обитателей, виды, населяющие поверхность почвы, траву, кустарники, невысокие и высокие деревья (рис. 121). Каждый ярус характеризуется своим типом растительности, а вместе с ним и типом обитающих в нём животных. Даже такие подвижные обитатели леса, как птицы, предпочитают обитать, а тем более гнездиться на определённой высоте.

Рис. 121. Ярусность в растительном сообществе

Рис. 122. Бентос – обитатели дна океана

Часто экологически сходные и систематически родственные виды птиц селятся в различных ярусах леса для того, чтобы разделить свои экологические ниши.

Точно такая же ярусность существует и в водоёмах, где верхние слои воды имеют большую освещённость и более высокую температуру. В самом верхнем ярусе на поверхности водоёма обитают организмы, называемые *нейстоном.* Организмы, обитающие в толще воды и пассивно переносимые течением, – это *планктон.* Различают *фитопланктон,* состоящий из мелких водорослей, и *зоопланктон,* в состав которого входят простейшие животные, мелкие ракообразные, некоторые личинки и пр. Активно передвигающиеся в толще воды животные, такие как рыбы и китообразные, образуют *нектон.* И наконец, на самом дне или возле него обитают малоподвижные или совсем неподвижные животные (кораллы, некоторые ползающие рыбы и моллюски), которые называют *бентосом* (рис. 122).

Ещё одной важной характеристикой экосистемы является её *трофическая структура,* о которой будет рассказано в следующем параграфе.

Проверьте свои знания

1. Что такое сообщество и экосистема?

2. Что называют экологической нишей?

3. Какую роль играет видовое разнообразие в устойчивости экосистемы?

4. Как называют формы животных, обитающих в разных ярусах водоёма?

Задания

1. Придумайте пример небольшой экосистемы и перечислите как можно больше видов, которые могут её населять. Опишите экологическую нишу для каждого из этих видов и докажите, что такая ниша существует в вашей экосистеме.

2. Используя дополнительные источники информации и знания, полученные на уроках биологии, составьте списки обитателей разных ярусов пресного и солёного водоёмов (не менее 10 объектов для каждого яруса). Представьте собранную информацию в виде таблицы.

3. Выполните исследование на тему «Моё жильё как пример экосистемы».

§ 39 Трофическая структура экосистемы и пищевые цепи

Комар один по рощице
Задумчиво летел,
А воробей близёхонько
На кустике сидел.

Воробышек был голоден,
Он мошку поджидал,
Погнался за комариком
И вмиг его поймал.

Высоко в поднебесии
Большой орёл летел,
На землю он посматривал
И крыльями шумел.

Орёл был очень голоден,
Он пташку увидал,
Погнался за воробышком
И вмиг его поймал.

Детская песенка

Одной из важнейших структур, характеризующих экосистему, является её ***трофическая структура*** (от греч. «трофе» – питание). Эта структура, во-первых, характеризует типы отношений между популяциями, а во-вторых, описывает миграцию и рассеивание энергии в экосистеме, т. е. переход её из свободной формы в связанную. Любая экосистема – это открытая система, которая требует постоянного притока энергии. Если не принимать в расчёт немногочисленных хемосинтетиков, то источником этой энергии следует считать солнечное излучение. Если бы на Земле не существовали живые организмы, то практически вся энергия Солнца рассеивалась бы и превращалась в тепловую энергию, увеличивая энтропию земной поверхности. Однако благодаря фотосинтезу часть этой энергии превращается в энергию химических связей. Способные к фотосинтезу автотрофные растения являются, таким образом, первичными потребителями поступающей на Землю солнечной энергии. Они находятся на первом трофическом уровне и называются

продуцентами.

Гетеротрофных организмов, не умеющих извлекать энергию непосредственно из солнечного излучения, называют *консументами,* т. е. потребителями. Животные, питающиеся растениями, находятся на втором трофическом уровне, это первичные консументы. Организмы, поедающие этих животных, занимают третий уровень и носят название вторичных консументов. Каждый организм, занимающий определённый трофический уровень, образует трофическое (пищевое) звено. В результате соединения нескольких трофических звеньев образуется *пищевая цепь,* в которой каждое предыдущее звено служит пищей последующему (рис. 123). Пищевую цепь можно удлинять, выделяя третичных, четвертичных и консументов более высокого порядка, однако она редко насчитывает более четырёх-пяти звеньев.

Приведём несколько примеров пищевых цепей. Допустим, что где– то на лугу растёт растение (продуцент), соком которого питается тля (первичный консумент). Тлю съела хищная муха (вторичный консумент), муху – паук (третичный консумент), паука – мелкая птица (консумент четвёртого порядка), а мелкую птицу – кошка (консумент пятого порядка). Таким образом, мы получили цепь питания, состоящую из шести трофических уровней (продуцент и консументы пяти порядков).

В море продуцентом служит фитопланктон, которым питается зоопланктон (инфузории, мелкие рачки и различные личинки). Зоопланктон поедают мелкие рыбы, а тех – крупные рыбы, которые, в конце концов, попадают на стол человеку. Такая цепь состоит из пяти уровней, продуцентом в ней служит фитопланктон, а консументом четвёртого порядка – человек.

Такую пищевую цепь, ведущую от растений к растительноядным животным, а затем к хищникам, поедающим этих животных, называют ***пастбищной*** или цепью выедания. Существует ещё и другой вид пищевой цепи. Дело в том, что далеко не все живые организмы поедаются консументами более высоких порядков. Всё, что не используется в пастбищной цепи, превращается в мёртвое органическое вещество, состоящее из неусвоенных остатков пищи, трупов животных и отмерших остатков растений. Это вещество называют детритом, и оно является началом *детритной* цепи, или цепи разложения.

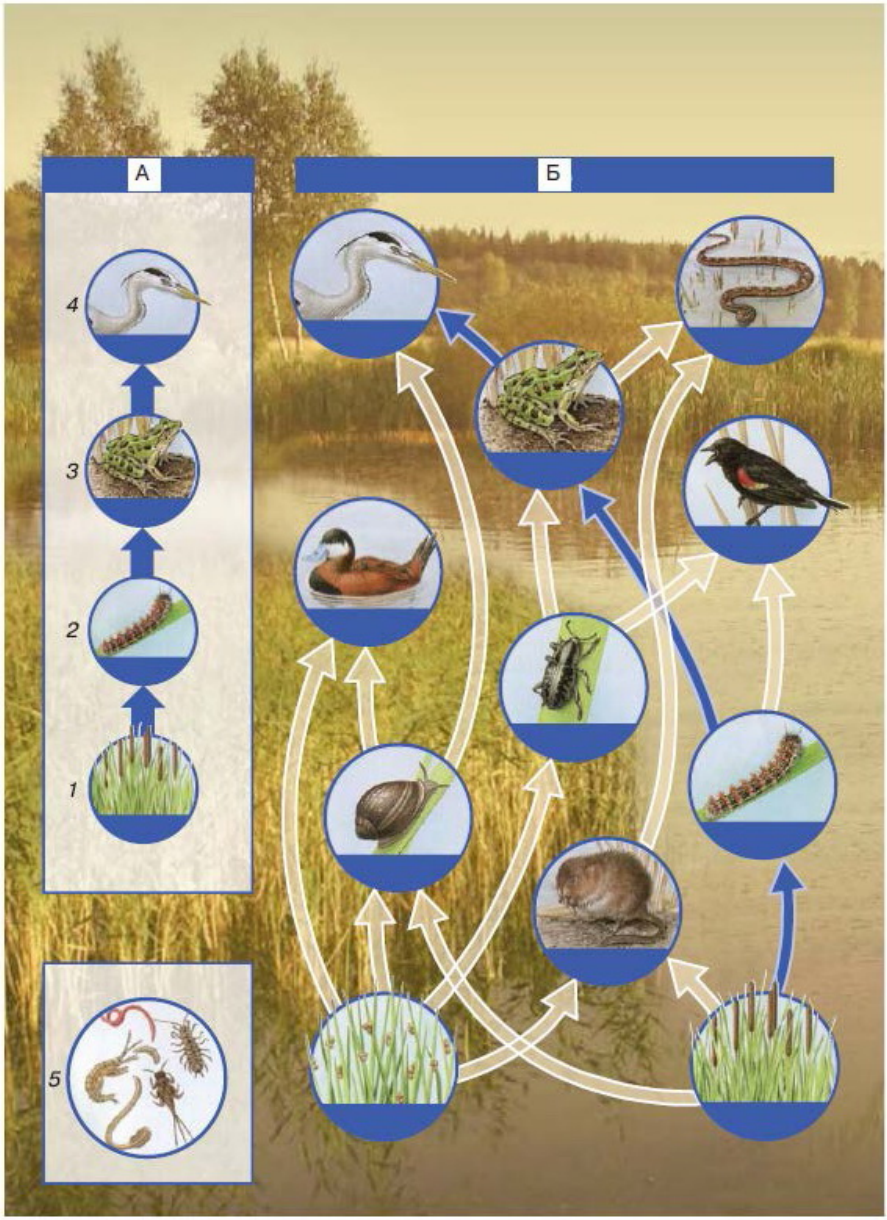


Рис. 123. Пищевая цепь (А) и пищевая сеть (Б): *1* – продуцент; *2* – консумент первого порядка; *3* – консумент второго порядка; *4* – консумент третьего порядка; *5* – редуцент

Детритную цепь образуют животные, питающиеся падалью, калоеды, а также бактерии и грибы, обитающие на мёртвых органических веществах. Эту группу организмов называют *редуцентами,* так как они замыкают трофический цикл, превращая органические вещества в неорганические, которые

затем поглощаются из почвы растениями[15].

Рис. 124. Экологическая пирамида численности

Экологические пирамиды

При переходе с одного трофического уровня на следующий значительная часть свободной энергии теряется, рассеиваясь в беспорядочное тепловое движение молекул или переходя в детритную цепь. Потери обычно достигают 80–90 %. Правило, согласно которому количество энергии снижается при переносе на следующий трофический уровень, называют *правилом экологической пирамиды.* Построить такую пирамиду можно различными способами. Наиболее наглядной является ***пирамида численности*** (рис. 124). Если подсчитать, сколько травинок растёт на данном участке луга, сколько на нём обитает питающихся этой травой полёвок и сколько змей, поедающих этих полёвок, то уменьшение числа особей по мереперехода с уровня на уровень немедленно бросится в глаза. Но такая пирамида может оказаться и перевёрнутой. Допустим, что где-то на первом трофическом уровне растёт дуб. Он один, а посчитайте, сколько на нём кормится насекомых, червей и даже птиц. Таким образом, одному продуценту соответствует множество консументов.

Для того чтобы избежать этого недоразумения, используют

так называемую ***пирамиду биомассы.*** Если удастся определить массу дуба и сравнить её с общей биомассой всех кормящихся на нём организмов, то пирамида будет восстановлена – первая биомасса окажется значительно больше второй. Пирамида биомассы редко бывает перевёрнутой, но иногда и такое случается. Поэтому правильнее всего рассматривать ***пирамиду энергии,*** где определяется, сколько именно свободной энергии передаётся с одного уровня на следующий. Такую пирамиду довольно трудно рассчитать, но зато она даёт самые правильные результаты.

Пищевые цепи не изолированы одна от другой. Пастбищные цепи постоянно переплетаются между собой и с дендритными цепями. В приведённых нами примерах ничто не мешает птичке съесть муху, минуя паука и тем самым снизить свой трофический уровень, а заодно и уровень съевшей её затем хищной птицы. Человек в вышеприведённом примере был консументом четвёртого порядка, но ведь он может есть рыбу с картошкой, становясь при этом одновременно первичным консументом. Поэтому реально в экологических исследованиях говорят не о пищевых цепях, а о ***пищевых сетях*** (см. рис. 123). Например, типичный представитель детритной цепи – дождевой червь, который питается гниющими растениями, сам является излюбленной пищей многих животных и, будучи ими съеденным, передаёт своё вещество и энергию в пастбищную цепь, где она может циркулировать в течение достаточно долгого времени.

Помимо абсолютной биомассы всех составляющих экосистему организмов, учитывают также её ежегодный прирост, который называют *продуктивностью экосистемы.* При этом прирост биомассы продуцентов называют первичной, а биомассы консументов – вторичной продукцией экосистемы. Различные экосистемы, естественно, обладают разной продуктивностью. Например, продуктивность тропического леса во много раз превышает продуктивность тайги, а та, в свою очередь, продуктивность тундры или пустыни. Наблюдая за изменением продуктивности экосистемы в течение нескольких лет, можно оценить перспективу её развития или, наоборот, деградации.

Проверьте свои знания

1. Каким образом продуценты поставляют энергию в экосистему?
2. Что такое пастбищные и детритные цепи? Приведите примеры цепей, состоящих из 3–5 звеньев.

3. Что учитывают пирамиды численности, биомассы и энергии?

4. Приведите примеры возвращения вещества из детритной цепи в пастбищную.

5. Чем различаются первичная и вторичная продуктивность экосистемы?

Задания

1. Определите, консументом каких порядков может быть орёл из эпиграфа, если предположить, что комар питался кровью лисицы. Учтите, что лисы могут питаться как травоядными мышами, так и хищными землеройками.

2. Подумайте, какой из трёх типов организмов (продуценты, консументы, редуценты) может отсутствовать в экосистеме. Объясните свой выбор.

3. Изобразите схематично взаимоотношения нескольких пищевых цепей, образующих вместе пищевую сеть.

4. Разработайте экскурсионный маршрут, позволяющий продемонстрировать видовую, пространственную и трофическую структуры типичной экосистемы вашего региона (групповой проект).

§ 40 Взаимоотношения популяций в экосистеме

Пришёл медведь и стучится:

– Чей домок-теремок? Кто в тереме живёт?

– Я, муха-горюха.

– Я, комар-пискун.

– Я, мышка-погрызуха.

– Я, лягушка-квакушка.

– Я, заюнок-кривоног, по горке скок.

– Я, лиса – при беседе краса.

– Я, волк-волчище – из-за куста хватыш. А ты кто?

– Я вам всем пригнётыш.

Теремок. Русская сказка.

Как вам уже известно, любую, даже самую маленькую территорию наземной, водной или воздушной среды населяет множество организмов, относящихся к разным видам, т. е. множество популяций. Все эти популяции вступают между собой в тесные отношения, которые могут носить самый различный характер. Все виды взаимоотношений между популяциями называют, как вы уже знаете, биотическими экологическими факторами. Теоретически два вида могут не оказывать друг на друга никакого влияния. Такой тип взаимодействия называют *нейтрализмом*. Однако на самом деле нейтрализм в природе встречается крайне редко, между видами всегда существуют если не непосредственные, то косвенные связи, которые иногда трудно наблюдать из-за недостатка имеющихся у нас знаний.

Обычно один из видов оказывает на другой либо положительное, либо отрицательное влияние. В ответ второй вид влияет на первый либо положительно, либо отрицательно, либо вообще не оказывает на него никакого влияния, т. е. в целом безразличен к его существованию. Рассмотрим последовательно все возможные типы отношений между видами.

Рис. 125. Рыба-клоун прячется между щупальцами актинии, стрекательные клетки которой защищают её от врагов.

Полезно-нейтральные отношения

Взаимоотношения, при которых один вид получает какую-либо выгоду от контакта с другим, в то время как второй не получает при этом ни вреда, ни пользы, называют *комменсализмом.* Комменсалы удовлетворяют свои потребности самыми различными способами. Одним из видов комменсализма является *нахлебничество,* когда более слабый вид следит за охотой более сильного, а затем подбирает то, что осталось после его обеда. Так, гиены и шакалы следуют за львами, а рыбы-прилипалы – за акулами. Другой пример комменсализма – *квартирантство*, когда один вид использует жилище или даже тело другого организма для своего обитания и защиты (рис. 125). Так, мальки многих рыб прячутся между щупалец медузы, многие мелкие животные поселяются в норах или гнёздах более крупных и защищённых. Интересен случай квартирантства у небольшой рыбки – горчака, который откладывает икру в мантию моллюска, что этому моллюску не причиняет никакого вреда.

Взаимополезные отношения

Существует много примеров взаимопомощи, т. е. обоюдно полезного сотрудничества между различными видами. Такие отношения называются ***мутуализмом.*** Они различаются теснотой связи и степенью необходимости для обоих видов.

Рис. 126. Рак-отшельник и актиния

Примерами мутуализма являются опыление растений животными, которые при этом питаются нектаром, распространение семян растений поедающими их птицами, питание некоторых мелких птиц паразитами, обитающими на теле носорога, взаимоотношения рака– отшельника и актинии и др. (рис. 126, 127).

Рис. 127. Клюв колибри приспособлен к опылению цветков только определённых видов орхидей

Самая тесная форма мутуализма – *симбиоз* (рис. 128). В некоторых случаях симбиотические виды просто не способны существовать друг без друга. Почему, например, шампиньоны можно выращивать в питомниках в течение всего года, а подосиновики или белые грибы – только собирать летом в лесу? Потому что лесные грибы не могут существовать без микоризы – симбиоза грибницы с корнями деревьев. Гифы гриба глубоко проникают в корни деревьев и снабжают его водой и минеральными веществами, получая взамен органические соединения. Существуют особые комплексные организмы – лишайники, которые представляют собой тесное сожительство водорослей, грибов и бактерий. В кишечнике человека обитает кишечная палочка – бактерия, которая является нашим обязательным симбионтом и без которой невозможно нормальное пищеварение. Ещё более важное значение имеют бактерии-симбионты для травоядных животных, которые питаются только клетчаткой.

Рис. 128. Симбиоз клубеньковых бактерий с бобовыми растениями позволяет последним селиться на почвах, бедных азотом. Бактерии, живущие на корнях, усваивают атмосферный азот, включая его в состав аминокислот, и снабжают этими органическими соединениями своего симбионта

Вредно-полезные взаимоотношения

Отношения, при которых один вид наносит вред другому, получая при этом преимущества, называют ***хищничеством*** или ***паразитизмом.*** Различие между этими двумя видами взаимодействия заключается в том, что хищник сразу убивает и поедает свою жертву, а паразит оставляет её живой, по крайней мере, в течение какого-то времени. Обычно хищничество требует хорошо развитой нервной системы и сложного поведения. Однако к хищникам причисляют и собирателей, поедающих неподвижную

или почти неподвижную добычу с земли или с растений. Хищниками можно считать и травоядных животных, которые тоже уничтожают и съедают целые организмы, пусть и растительные.

Паразитов подразделяют на эндопаразитов, живущих внутри тела хозяина (бактерии, вирусы, паразитические черви), и эктопаразитов, атакующих его извне (комары, блохи, вши). Как правило, паразиты доставляют своему хозяину жизненные неудобства, но не убивают его. Исключение составляют некоторые бактерии и вирусы, вызывающие болезни со смертельным исходом. Следует помнить, что переносчиками таких эндопаразитов могут служить некоторые эктопаразиты. Так, например, блохи переносят чуму, вши – сыпной тиф, клещи – энцефалит.

Взаимовредные отношения

Часто обитающим в пределах одной экосистемы популяциям требуются сходные условия обитания, места для укрытия и размножения и пища. Мы говорили о том, что в одной экологической нише может обитать только одна популяция, но иногда эти ниши оказываются достаточно близкими, и тогда между популяциями возникают отношения, называемые ***конкуренцией.***

Конкуренция может возникать не только между видами, но и между отдельными особями в пределах одной популяции, так называемая внутривидовая борьба (рис. 129). Такую наиболее интенсивную конкуренцию Чарлз Дарвин считал одной из главных причин борьбы за существование и естественного отбора. Ведь особям одного вида требуются одни и те же ресурсы, и в условиях, когда они ограничены, возникает конкурентная борьба за пищу, укрытие, полового партнёра и т. п.

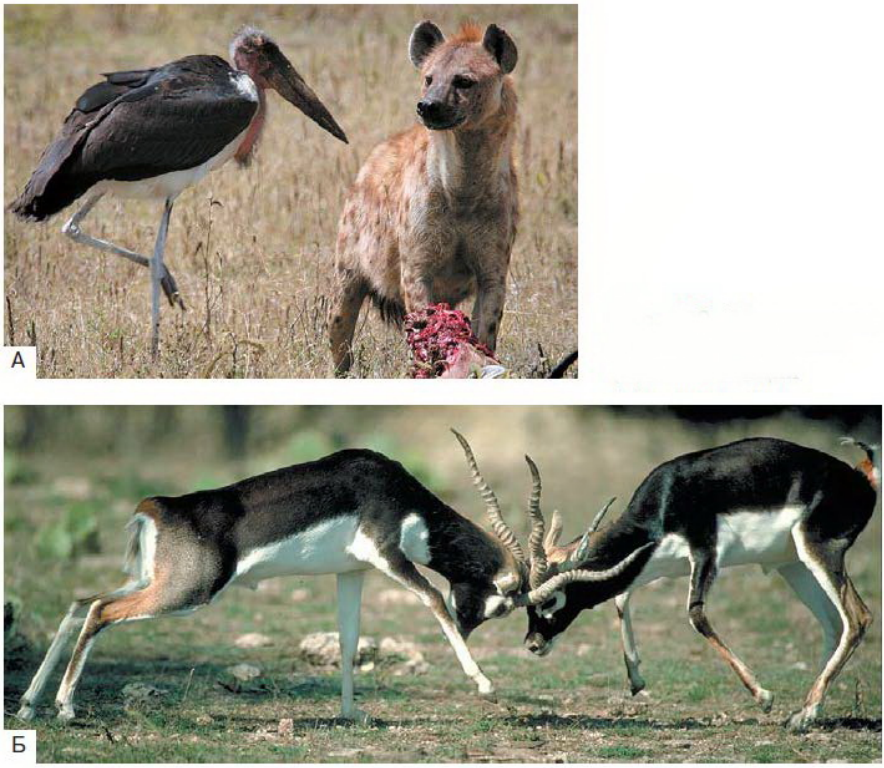


Рис. 129. Межвидовая (А) и внутривидовая (Б)конкуренция

Напряжённость межвидовой конкуренции может быть различной – от жёсткой борьбы до почти незаметного мирного сосуществования, но в конечном счёте один из конкурирующих видов практически всегда вытесняет другой. Межвидовую конкуренцию подробно изучал русский биолог Г. Ф. Гаузе. В одном из его опытов два вида инфузорий со сходным типом питания помещали по отдельности или совместно в сосуд с питательной средой. При раздельном содержании каждый вид успешно размножался, достигая максимально возможной численности. Если же оба вида содержали в одном сосуде, то численность одного из них постоянно уменьшалась вплоть до полного исчезновения. Таким образом, межвидовая конкуренция может привести к одному из двух последствий: либо один, более слабый вид будет вытеснен и исчезнет, либо ему придётся изменить свой образ жизни для того, чтобы занять более отдалённую экологическую нишу.

Проверьте свои знания

1. Перечислите виды мутуализма и приведите примеры.

2. В чём заключается сходство и различие хищничества и паразитизма?

3. Какой вред может принести паразит хозяину?

4. Что может быть итогом межвидовой конкуренции?

5. Почему бесконтрольный приём антибиотиков серьёзно нарушает работу пищеварительной системы?

6. Как вы считаете, существуют ли вредно-нейтральные отношения? Если да, то приведите пример подобного взаимодействия. Если нет, объясните, почему, с вашей точки зрения, эти отношения невозможны.

Задания

1. Рассмотрите рисунок 126. Какой тип взаимоотношений изображён на этом рисунке? Докажите свою точку зрения.

2. Сведите в общую таблицу все виды взаимоотношений организмов, описанные в параграфе, используя символы «+», «-», «0».

§ 41 Устойчивость и смена сообществ

…Плакала Саша, как лес вырубали,

Ей и теперь его жалко до слёз.
Сколько тут было кудрявых берёз!

Там из-за старой, нахмуренной ели
Красные грозды калины глядели,

Там поднимался дубок молодой.
Птицы царили в вершине лесной,

Понизу всякие звери таились.
Вдруг мужики с топорами явились —

Лес зазвенел, застонал, затрещал.
Заяц послушал – и вон побежал,

В тёмную нору забилась лисица,
Машет крылом осторожнее птица,

В недоуменьи тащат муравьи
Что ни попало в жилища свои.

С песнями труд человека спори́лся:
Словно подкошен, осинник

валился,

С треском ломали сухой березняк,
Корчили с корнем упорный дубняк,

Старую сосну сперва подрубали,
После арканом её нагибали

И, поваливши, плясали на ней,
Чтобы к земле прилегла поплотней…

Н. А. Некрасов. Саша

Как уже было сказано, природные экосистемы в относительно неизменных условиях обладают высокой устойчивостью и часто сохраняют основы своей структуры в течение веков. Степень устойчивости тесно связана с видовым разнообразием системы, так как в случае гибели или угнетения одних видов их место могут занять другие, имеющие близкие экологические ниши. Это компенсирует нарушенные цепи питания и вернёт систему в практически первоначальное состояние. Устойчивость экосистемы обеспечивается огромным числом существующих в ней прямых и обратных связей, о чём вам уже известно.

Однако нередки случаи, когда экосистема может резко измениться или вовсе прекратить своё существование. Это случается при резких изменениях климата, стихийных бедствиях, таких как пожары, извержение вулканов или затопление земель. В последнее время такие явления вызваны чаще всего антропогенными воздействиями: вырубкой лесов, осушением болот и водоёмов, прокладкой автомобильных трасс и пр. В этих случаях на месте исчезнувшей старой экосистемы начинает развиваться новая. Последовательную закономерную смену сообществ на определённом участке среды во времени называют ***сукцессией***. При этом определяющими являются растительные сообщества, которые впоследствии заселяются животными. Как правило, в итоге образуется устойчивое сообщество, которое называют ***климаксовым.***

Различают первичные и вторичные сукцессии. В первом случае новые экосистемы образуются на субстрате, где

отсутствует органическое вещество, например, после сильного пожара или извержения вулкана. Вторичные сукцессии развиваются при участии сохранившихся живых организмов.

Типичный пример ***первичной сукцессии*** – обрастание голой скалы (рис. 130). На камне в первую очередь поселяются лишайники – самые неприхотливые живые существа, некоторые бактерии, а за ними и мхи. Лишайники и мхи улавливают мелкие песчинки и камешки, приносимые ветром и водой, и образуют почву, подходящую для поселения семенных растений. Эти растения, будучи более крупными, раскалывают горную породу своими корнями и увеличивают объём почвы. В почве появляются гниющие листья семенных растений, которые мешают жизнедеятельности мхов и лишайников. Сообщества мхов постепенно исчезают.

Рис. 130. Первичная сукцессия

Биоценозы, образующиеся в начале сукцессии, называют *пионерными*. Их состав зависит от температуры, силы и направления ветра, степени заливания водой, а также от того, какие растения произрастают поблизости. Часто такие сообщества состоят всего из одного вида растений. Затем ситуация меняется: появляются растения, семена которых имеют более продолжительный период прорастания, они, в свою очередь, меняют состав почвы и потребление воды. Пионерные сообщества сменяются простыми группировками, те – сложными и, наконец, образуются устойчивые климаксовые сообщества. В ходе сукцессии постепенно увеличивается число видов в сообществе и усложняются их межвидовые отношения. Молодые сообщества характеризуются низким содержанием органического вещества, небольшими размерами организмов, малым количеством симбиотических связей и почти полным отсутствием пространственной структуры.

Вторичная сукцессия обычно протекает быстрее первичной,

поскольку на территории сохраняется некоторое количество организмов, которые могут служить «посредниками» между новым сообществом и окружающей средой (рис. 131). Типичным примером вторичной сукцессии может служить смена лиственного леса хвойным. На вырубках первыми появляются светолюбивые и быстрорастущие лиственные кустарники и деревья, которые вскоре образуют лиственное мелколесье. Затем под кронами лиственных деревьев появляются небольшие ёлочки, которые растут медленно, но не требуют большого количества света. Через несколько лет ели перерастают лиственные деревья и затемняют их своими кронами, в результате чего те погибают из-за недостатка освещения. Лиственный лес сменяется ельником, который уже представляет собой климаксовое сообщество и может существовать на протяжении очень длительного периода времени. Нарушить такое сообщество может только резкое изменение климата или деятельность человека.

Рис. 131. Зарастание покинутого сельскохозяйственного участка – пример вторичной сукцессии

Деревья климаксовых хвойных лесов часто образуют такие плотные и тесно соприкасающиеся кроны, что под ними не остаётся освещения, достаточного для развития других видов растений. Так, по мере сукцессии елового леса образуется сначала ельник-черничник, затем ельник-зеленомошник, где под кронами способны выжить только неприхотливые мхи, и наконец, чистый ельник, почва которого покрыта толстым слоем осыпавшейся хвои, что в сочетании с низкой освещённостью не позволяет селиться там никаким растениям.

Полный процесс сукцессии от пионерных до климаксовых сообществ обычно занимает десятилетия и даже века, но иногда может протекать на протяжении жизни одного поколения.

Проверьте свои знания

1. Чем различаются первичные и вторичные сукцессии?
2. Какие особенности характеризуют сообщества, находящиеся на ранних стадиях сукцессии?
3. Почему в процессе сукцессии лиственные леса сменяются хвойными?
4. Приходилось ли вам наблюдать сукцессионные изменения? Чем они были вызваны и к какому типу относились?

Задания

1. Проведите исследование. Если у вас есть небольшое свободное место на дачном или приусадебном участке подальше от деревьев, разожгите на нём костёр площадью 0,5–1 м^2, дайте ему хорошо прогореть. Огородите кострище и в течение возможно более длительного срока наблюдайте, какие растения будут прорастать на этом месте. Определите их видовую принадлежность. Сравните видовой состав этого участка с видовым составом растений окружающей территории.
2. Используя дополнительные источники информации, расскажите об этапах зарастания водоёма. Попробуйте объяснить, почему зарастание водоёма относят к первичной сукцессии.

§ 42 Биосфера

Освежив горячее тело
Благовонной ночною тьмой,
Вновь берётся земля за дело,
Непонятное ей самой.
Наливает зелёным соком
Детски-нежные стебли трав
И багряным, дивно-высоким,
Благородное сердце льва.
И, всегда желая иного,
На голодный жаркий песок
Проливает снова и снова
И зелёный, и красный сок.
С сотворения мира стократы,
Умирая, менялся прах,
Этот камень рычал когда-то,
Этот плющ парил в облаках.
Умирая и воскресая,
Набухать вселенской душой,
В этом воля земли святая,
Непонятная ей самой.

Н. С. Гумилёв. Поэма начала

Состав и строение биосферы

В строении Земли можно выделить несколько оболочек. Наружную называют ***атмосферой,*** она состоит из смеси газов, в основном азота и кислорода. Две трети земного шара покрыто водой, которая составляет ***гидросферу***, а остальная треть и всё, что находится под водой, является твёрдым веществом и называется ***литосферой.*** О происхождении этих оболочек в Библии сказано так: *«И создал Бог твердь; и отделил воду, которая под твердью, от воды, которая над твердью. И стало так…И сказал Бог: да соберётся вода, которая под небом, в одно*

место, и да явится суша. И стало так».

Но творение на этом не закончилось: земля ещё не была настоящей Землёй. Поэтому: *«И сказал Бог: да произрастит земля зелень, траву, сеющую семя, дерево плодовитое, приносящее по роду своему плод, в котором семя его на земле. И стало так…И сказал Бог: да произведёт земля душу живую по роду её, скотов, и гадов, и зверей земных по роду их. И стало так».*

Так, согласно Библии, была создана ещё одна оболочка – *биосфера.* Впервые о наружной оболочке Земли, представляющей собой «область жизни», говорил ещё Ламарк.

Термин же «биосфера» ввёл Э. Зюсс в 1875 г. в книге «Лик Земли». Но главная заслуга в развитии целостного представления о биосфере принадлежит выдающемуся русскому учёному Владимиру Ивановичу Вернадскому (1863–1945) (рис. 132).

Рис. 132.В. И. Вернадский

Вернадский не был биологом по специальности, он был кристаллографом, минералогом и геохимиком. Его докторская диссертация называлась «Явления скольжения кристаллического вещества» и, как легко понять, не имела к биосфере никакого отношения. Но в 1926 г. появилась его книга «Биосфера». Вернадский рассуждал как химик: он не вдавался в вопросы строения живых организмов, их многообразия и вообще всего того, что интересует биологов. Он говорил о биосфере с точки зрения геохимика.

Верхняя граница биосферы находится на высоте примерно 20 км над земной поверхностью, а нижняя – на глубине 2–3 км под поверхностью суши и на 1–2 км под дном океана. В других частях земного шара жизнь отсутствует. Если учесть, что радиус Земли равен почти 6400 км, то можно убедиться в том, что биосфера, толщина которой не превышает 25 км, представляет собой очень тонкую плёнку на поверхности Земли. Вернадский обращал внимание на то, что биосфера – это не только область обитания живых существ, она своеобразна и по своему химическому составу. Биосфера состоит из семи разных типов веществ.

• ***Живое вещество,*** которое является совокупностью всех живых организмов.

• ***Биогенное вещество,*** образованное в результате жизнедеятельности организмов. К нему относятся нефть, природный газ, каменный уголь, торф, осадочные породы (рис. 133) и, самое главное, кислород атмосферы.

• ***Косное вещество,*** в образовании которого живые организмы участия не принимают (магматические породы).

• ***Биокосное вещество*** создаётся одновременно живыми организмами и процессами неживой природы.

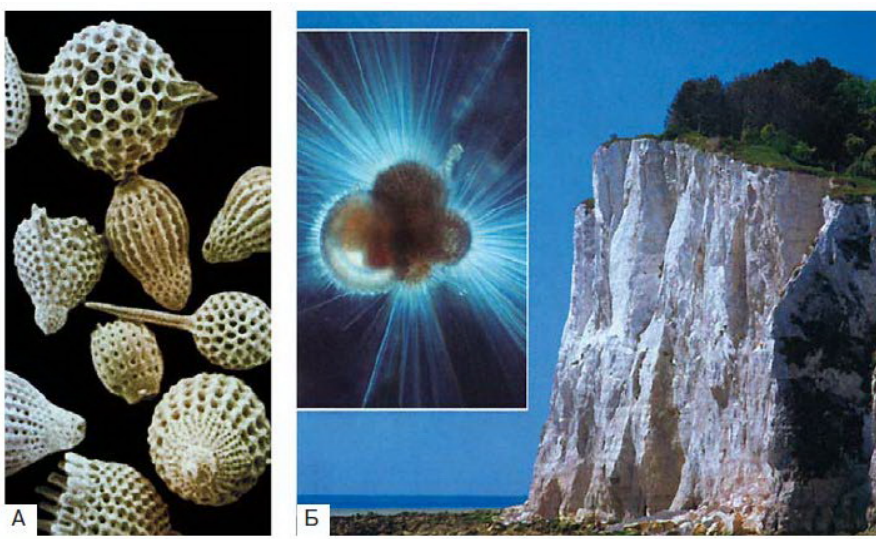


Рис. 133. Раковины одноклеточных организмов под сканирующим электронным микроскопом (А). Скелеты мелких планктонных водорослей и раковинок морских простейших сложились в гигантские толщи известковых пород (Б)

К этому типу вещества относятся почти вся вода биосферы, а также почва и ил. Это сложные динамические системы, в которых

живые организмы играют ведущую роль.

• Остальные три части представляют собой вещества, находящиеся в состоянии радиоактивного распада, рассеянные атомы и вещества космического происхождения, приходящие на Землю от Солнца и более далёких космических тел.

Роль живого вещества в биосфере

Биосферу можно рассматривать как огромную, охватывающую весь земной шар единую экосистему. В отличие от обычных экосистем, она обменивается с окружающей средой (внеземным пространством) только энергией, но не веществом. Отдельные метеориты и космическая пыль принципиальной роли в жизни биосферы не играют. Во всём остальном она вполне схожа с описанными выше экосистемами: в ней существуют продуценты, превращающие солнечную энергию в энергию химической связи органических веществ, консументы, использующие энергию этих связей для своей жизнедеятельности, и редуценты, вновь превращающие органические соединения в неорганические.

Живое вещество составляет ничтожную часть общей массы биосферы, примерно одну миллионную. Однако оно является мощнейшим геологическим фактором, ведущей силой развития нашей планеты. С его помощью происходит постоянный круговорот вещества и энергии, их биогеохимические циклы, в ходе которых большинство химических элементов множество раз проходит через живые организмы. Вернадский подчёркивал, что живое вещество выполняет планетную, т. е. космическую, функцию и является на Земле реальной геологической силой.

Живое вещество выполняет в биосфере несколько функций, в результате чего «лик Земли» претерпевает принципиальные изменения. Одной из таких функций является ***газовая***. Почти все газы, присутствующие в свободном виде в атмосфере и в связанном – в литосфере и гидросфере, имеют биогенное происхождение. Достаточно вспомнить, что практически весь кислород в атмосфере был создан автотрофными растениями в процессе фотолиза воды. Другой главный газ атмосферы – азот выделяется в результате жизнедеятельности подземных живых организмов или бактерий, обитающих на поверхности океана.

Вторая функция живого вещества – ***окислительно-восстановительная.*** Ферменты, находящиеся в живых организмах, способны окислять и восстанавливать многие химические элементы. Такие окислительно-восстановительные

реакции были бы невозможны без участия живого вещества.

Третьей функцией живого вещества в биосфере является ***концентрационная***. Представьте себе, что на нашей планете появился наблюдатель, хорошо знающий физику и химию, но не имеющий понятия о существовании живых организмов (его разум развился на какой– то другой основе). Он обследует поверхность Земли и выяснит, что в одних её местах (каменноугольные бассейны) вдруг обнаруживаются огромные скопления углерода, в других – кальция (залежи известняка), в третьих – кремния и т. д. Он не сможет этого объяснить, потому что знает, что чем больше случайные отклонения от равномерного распределения любых веществ, тем они маловероятнее. Если такие отклонения, называемые флуктуациями, где-то по воле случая и возникнут, то довольно быстро должны сгладиться. Это произойдёт из-за того, что вещества должны двигаться по градиентам концентраций, т. е. перемещаться из того места, где их много, туда, где их меньше, и, значит, через какое-то время они распределятся по поверхности планеты равномерно. Этого требует второе начало термодинамики.

Так и было бы, если бы не существовало живого вещества. Но на Земле есть жизнь, и поэтому законы физики, по крайней мере с точки зрения непосвященного наблюдателя, оказываются нарушенными. Вещества движутся против градиентов! Предположим, что в океане живёт какой-то вид организмов, накапливающих кремний. Допустим также, что этот вид предпочитает жить при определённой средней температуре, избегая слишком тёплых и слишком холодных мест. Тогда в тех местах океана, где держится соответствующая температура, окажутся огромные скопления кремния, тогда как даже на небольшом расстоянии, где проходит более холодное или более тёплое течение, кремния будет значительно меньше. С точки зрения физики это объяснить нельзя: кремнию всё равно, при какой температуре существовать, его перемещение с температурой не связано. Значит, скопления кремния никак не объясняются физическими законами (хотя и не противоречат им).

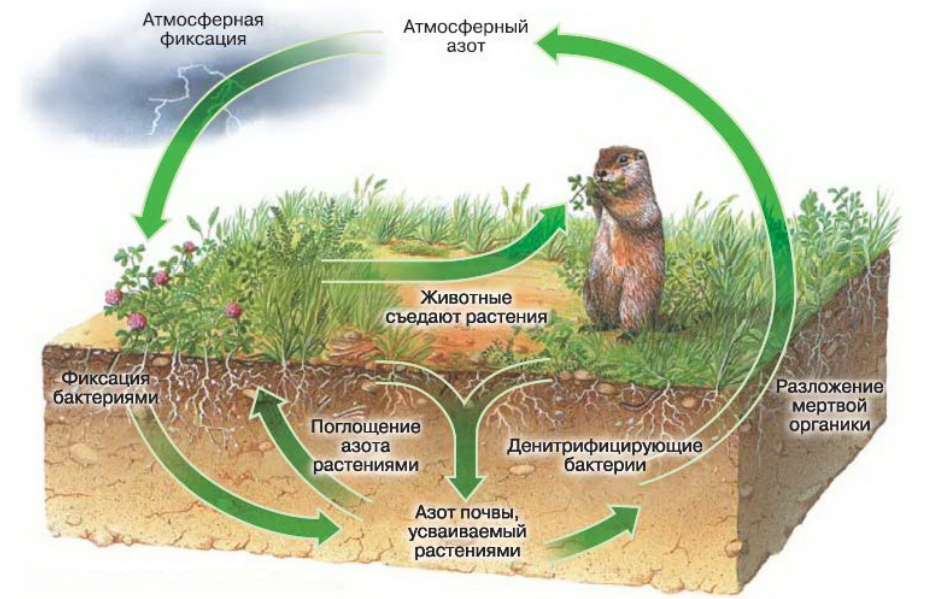


Рис. 134. Круговорот азота

Их создали живые организмы, способные накапливать этот элемент, забирая его из морской воды, хотя его концентрация там значительно меньше, чем в самом организме.

Очень важной функцией живого вещества в биосфере является *биогенная миграция атомов,* т. е. постоянный круговорот веществ и элементов. Рассмотрим азот, который, хотя и присутствует в атмосфере в значительном количестве, является довольно инертным элементом и в химические реакции вступает неохотно (рис. 134). Если бы на Земле не было жизни, он так бы и «витал в облаках». Однако благодаря существованию азотфиксирующих бактерий и их ферментов он превращается в химические соединения, которые усваиваются растениями, а затем и животными, мигрируют по огромным пространствам, а потом, благодаря деятельности уже других бактерий, превращаются в свободный азот и уходят в атмосферу. Точно так же происходит миграция углерода, который составляет основу органических веществ, и кислорода, который постоянно поглощается в результате дыхания и вновь возвращается в атмосферу благодаря фотосинтезу (рис. 135).

Проверьте свои знания

1. Каковы размеры биосферы?
2. Объясните, почему верхняя граница биосферы проходит

именно на высоте 20 км.

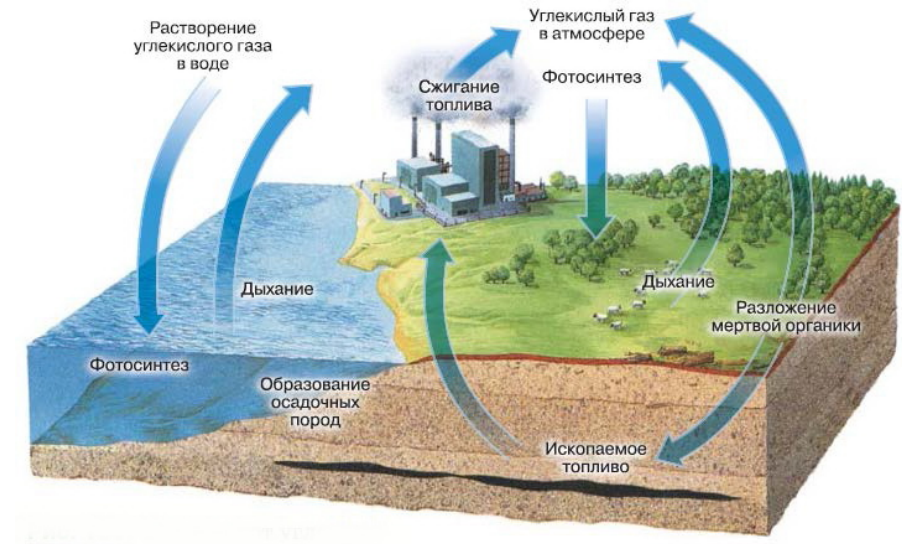


Рис. 135. Круговорот углерода

3. Какие виды вещества выделял В. И. Вернадский в биосфере? Приведите примеры, относящиеся к основным четырём типам веществ.

4. Назовите основные функции живого вещества в биосфере. В чём они заключаются?

Задания

1. Рассмотрите рисунок 135. Расскажите о круговороте углерода и о роли живых организмов в этом процессе.

2. Используя дополнительные источники информации, сделайте стендовый доклад о круговороте серы в природе.

Ваша будущая профессия

1. Объясните, почему учение о биосфере было создано не биологом, а специалистом в других областях естественных наук.

2. Вспомните, кто были по специальности Г. Мендель, Ж. Б. Ламарк, Ч. Дарвин. Почему создатели крупных естественно-научных теорий не были узкими специалистами в одной конкретной области?

3. Выясните, какие новые профессии возникли в связи с экологизацией всей системы научных знаний.

Происхождение и развитие жизни на земле

§ 43 История представлений о зарождении жизни

Оспаривать, что жуки и осы зарождаются из коровьего помёта, это всё равно что спорить против разума, здравого смысла и реального опыта. Даже столь сложные животные, как мыши, необязательно должны иметь отцов и матерей; если кто-либо в этом сомневается, пусть поедет в Египет и там убедится в том, что поля положительно кишат мышами, зарождающимися из грязной тины реки Нила, что является большим бедствием для населения.

Росс, английский натуралист

Виталисты и физикалисты

Проблема наведения мостов между живым и неживым волновала человечество всегда. Видя, сколь легко живой организм можно превратить в мёртвый, люди охотно допускали, что возможен и обратный процесс. Пропасть между живым и неживым, о которой говорил Вернадский, никогда не казалась непреодолимой. В Античности и Средневековье оживление связывали с внесением в неживой предмет души, дыхания, духа, одним словом, какой-то сущности, принципиально отличной от обычного вещества, но однако объективно существующей в мире. Эту сущность в разное время называли по-разному, но в эпоху естествознания в связи с развитием физики она получила название жизненной силы или жизненной энергии. Сторонники существования жизненной силы были названы ***виталистами*** (от лат. «вита» – жизнь).

Противоположная точка зрения, получившая название ***физикалистской*** или механистической, заключалась в том, что никакой жизненной силы или энергии в природе не существует, а все особенности живой материи заключаются исключительно в

сложности её организации.

Таким образом, согласно этим двум концепциям, неживое вещество можно превратить в живое либо присоединив к нему жизненную силу, либо увеличив сложность его организации, многообразие физических элементов и связей. Принципиальным вопросом становится, следовательно, вопрос о том, как на Земле появилась жизнь. Все существующие по этому поводу теории можно разделить на несколько категорий.

Креационизм

К первой из них относится ***креационизм*** (от лат. «креацио» – творение), утверждающий, что жизнь возникла в результате сверхъестественного события, осуществлённого по воле Бога или Творца. В предыдущем параграфе мы уже привели цитату из Библии, где формулируется эта точка зрения. Креационистские описания происхождения жизни существуют и в других религиях. Все они подразумевают вмешательство сверхъестественных сил, т. е. чудо. Но чудо невоспроизводимо, не может служить предметом эксперимента, а вызывающие его причины не поддаются логическому анализу. Следовательно, креационизм по самой своей сути не может рассматриваться как теория, имеющая хоть какое-нибудь отношение к науке. Зато следующая теория всегда была предметом активных исследований и ожесточённых дискуссий.

Абиогенез

Эту теорию называют ***теорией спонтанного зарождения жизни*** или ***теорией абиогенеза.*** Слово «абиогенез» означает «происхождение жизни без участия чего-то живого». На протяжении многих веков теория абиогенеза казалась абсолютно очевидной и не вызывала никаких сомнений. Если бы она подтвердилась, довольны были бы все – и виталисты, и физикалисты. Первые утверждали бы, что в природе разлита жизненная сила, которая периодически заполняет собой вещества и тела, делая их живыми. Вторые же говорили бы о таком же периодическом, но случайном или соответствующем законам физики складывании молекул в определённые комбинации, которые соответствуют живым организмам.

Убеждённым сторонником абиогенеза был Аристотель. Для него мир был живым. Аристотель ввёл понятие энтелехии, что означает «цель в самом себе». Аристотель утверждал, что в результате энтелехии образуются виды, которые затем продолжают воспроизводить сами себя. Но некоторые, не очень развитые животные вроде червей, моллюсков и даже рыб могут возникать и самопроизвольно из ила, гниющих остатков и других форм неживого вещества. А поскольку авторитет Аристотеля в средневековой Европе был незыблем, его убеждение в возможности самопроизвольного зарождения жизни получило всеобщее признание. Известный учёный начала XVIII в. ван Гельмонт считал, что он подтвердил самозарождение экспериментальными данными. Он описал эксперимент, в котором ему удалось якобы создать мышей из грязной рубашки и горсти пшеницы, помещённых в закрытый (надо думать, что не очень плотно) шкаф. Он считал, что активным началом, производящим мышей из неживого вещества, является человеческий пот, которым пропитана рубашка.

Опыты Реди, Спалланцани и Пастера

С распространением строгих научных методов теория самозарождения стала давать глубокие трещины. Сокрушительный удар по ней нанёс в 1688 г. флорентийский врач и естествоиспытатель Франческо Реди (1626–1697). До него ни у кого не вызывало сомнений то, что в гниющем мясе могут абсолютно самопроизвольно появляться маленькие белые червячки. Реди первым делом установил, что червячки – это личинки мух, а потом провёл гениальный по своей простоте эксперимент, результаты которого описал так:

«Я взял четыре больших сосуда с широким горлом, поместил в один из них змею, в другой – немного рыбы, в третий – угрей из реки Арно, в четвёртый – кусок молочной телятины, плотно закрыл их и запечатал. Затем я поместил то же самое в четыре других сосуда, оставив их открытыми. Вскоре мясо и рыба в незапечатанных сосудах зачервивели; можно было видеть, как мухи свободно залетают в сосуды и вылетают из них. Но в запечатанных сосудах я не видел ни одного червяка, хотя прошло много дней после того, как в них была положена дохлая рыба».

Опыты Ф. Реди, в дальнейшем многократно повторенные, доказали невозможность появления жизни из неживого вещества. Возник принцип *«всё живое из живого»,* впоследствии названный В. И. Вернадским принципом Реди. Казалось бы, вопрос решён, но тут возникли обстоятельства, всколыхнувшие угасающие надежды сторонников спонтанного зарождения жизни и связанные с тем, что понятие живого значительно расширилось: Левенгук открыл мир простейших и бактерий. Сторонники абиогенеза стали утверждать, что такие маленькие и простые существа, безусловно, должны зарождаться сами по себе.

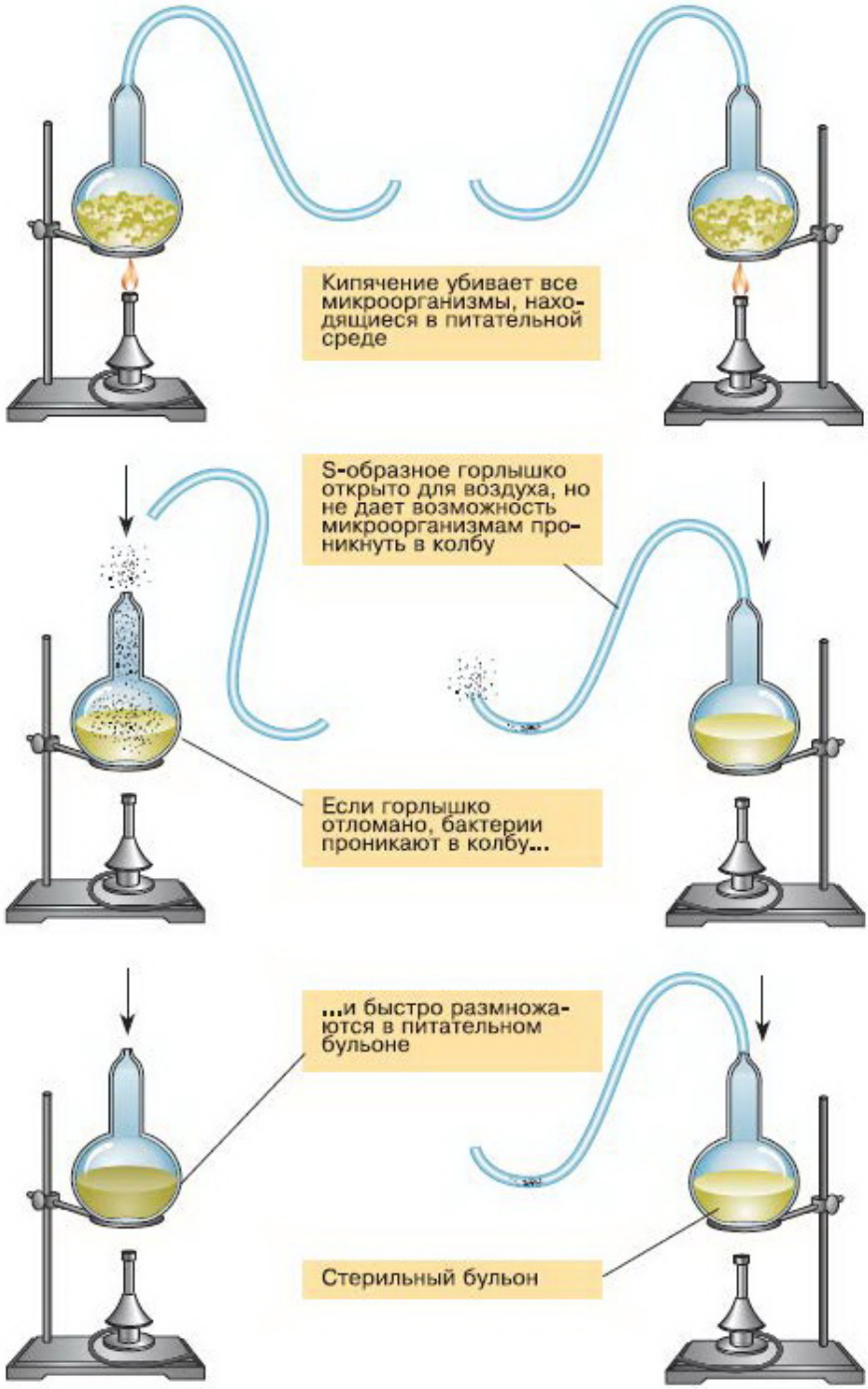


Рис. 136. Опыт Л. Пастера

Они уже стали во всеуслышание заявлять, что им удалось это экспериментально подтвердить, но их торжество оказалось

недолгим. Итальянский натуралист Ладзаро Спалланцани (1729–1799) провёл серию блестящих опытов и доказал, что микробы заводятся только в тех случаях, когда сосуды закрыты недостаточно плотно, так что микроскопические организмы могут попадать туда из воздуха.

Положение сторонников абиогенеза казалось безнадёжным, но вскоре ими был найден новый выход из тяжёлой для них ситуации. Французский академик Ф. Пуше заявил, что в закрытых колбах Спалланцани микроорганизмы не зарождались из-за того, что сквозь запаянные горлышки в них не может проникнуть жизненная сила. Спор затянулся, и в конце концов в нём принял участие великий французский химик и микробиолог Луи Пастер (1922–1995). Он поступил так же, как Спалланцани, но только не стал запаивать горлышки колб, а вытянул их в длинные, тонкие, изгибающиеся трубки, придав им такую форму, «какую лебедь придаёт своей шее, когда хочет что-нибудь выловить из воды» (рис. 136). Отверстия на концах трубок он оставил отрытыми, так что жизненная сила, если бы такая существовала, вполне могла проникнуть в колбу. Прошло много дней, но растворы питательной среды в колбах Пастера оставались идеально прозрачны, и в них не оказалось ни одного живого существа.

> *«Можно быть вполне уверенным, – говорил Пастер, – что теория самопроизвольного зарождения никогда уже не оправится от того смертельного удара, который наносит ей этот маленький простой опыт».*

Проверьте свои знания

1. В чём состояли позиции виталистов и физикалистов?
2. Каких убеждений придерживались креационисты?
3. Какие опыты провёл Реди и какой вывод был им сделан?
4. Каким образом Пастер доказал невозможность самозарождения жизни?
5. Объясните, почему консервы могут храниться в течение долгого времени, но быстро портятся после вскрытия упаковки.

Задания

Рассмотрите рисунок 136. Обсудите в классе, почему в опыте Пастера, несмотря на открытые горлышки колб, в питательном бульоне не завелись микроорганизмы. Предположите, что

произойдёт, если отломить S-изогнутые трубки.

§ 44 Теории происхождения жизни: от XIX в. к настоящему времени

Действительно, надежда есть, что можем
Мы, ежели веществ мы сотни сложим,
Смешаем их – в смешении вся суть, —
Всё человека вещество составить,
Его мы в колбу можем переправить,
Закупорим, возгоним на огне,
И так свершим всё дело в тишине!

И. В. Гёте. Фауст

Теория стационарного состояния и теория панспермии

После того как опыты Пастера, казалось бы, поставили точку в вопросе о самозарождении жизни, естественным образом возникла ***теория стационарного состояния,*** или ***теория непрерывности жизни.*** Одним из главных её создателей считают В. Прейера, который в 1880 г. предложил вопрос: *«Не основана ли проблема происхождения жизни на неправильном утверждении, что живое вещество должно было когда-то возникнуть из безжизненного? Не должен ли вопрос звучать как раз наоборот: не возникло ли безжизненное вещество из живого? Все организмы происходят только из других живых организмов. Напротив, неорганическое безжизненное вещество постоянно возникает не только из другого безжизненного вещества, но и из живых организмов, которыми оно выделяется в виде мёртвой массы или от которых оно остаётся после их смерти»*.

Но если жизнь на Земле никогда не возникала, она должна была либо существовать на ней, когда наша планета ещё представляла собой раскалённый шар, либо попасть на неё после того, как здесь возникли условия для существования живых

организмов. Во втором случае мы приходим к ***теории панспермии,*** что в переводе с греческого означает «всеобщее осеменение».

Первой точки зрения придерживался Пастер. Согласно его представлениям, когда-то вся огненно-жидкая Земля была огромным единственным организмом, жизнь которого проявлялась в движениях его вещества. Трудно, конечно, представить себе жизнь в виде раскалённого огненно-жидкого шара. Но важно другое: теория непрерывности жизни строго соответствует экспериментам, неопровержимо доказывающим невозможность самозарождения. Об этом же говорил другой крупнейший учёный – немецкий физик и физиолог Г. Гельмгольц: *«Мне кажется, что если все наши попытки создать организмы из безжизненного вещества терпят неудачи, то является вполне научным способом рассуждения задать вопрос: да возникла ли вообще когда-нибудь жизнь, не так ли она стара, как и материя, и не переносятся ли зародыши с одного небесного тела на другое, развиваясь повсюду, где они находят себе благоприятную почву?»*

Теория панспермии, выдвинутая в 1865 г. немецким учёным Г. Рихтером и поддержанная Г. Гельмгольцем, С. Аррениусом и В. И. Вернадским, является более мягким вариантом теории стационарного состояния. Она не настаивает на вечности существования жизни, но утверждает, что если зарождение жизни на Земле невозможно, то у нас нет строгих оснований утверждать, что оно также невозможно в других областях Вселенной, о которых нам ничего неизвестно. Вполне возможно, что жизнь возникла где-то в отдалённом уголке Вселенной, а затем была принесена на Землю посредством метеоритов или под влиянием давления света. Считается, что некоторые споры могут переносить вакуум и температуры, близкие к абсолютному нулю, оставаясь при этом жизнеспособными. Создатель теории двойной спирали ДНК, лауреат Нобелевской премии Ф. Крик полагает даже, что более древние космические цивилизации создали специальную ракету для того, чтобы направить на Землю примитивные формы жизни.

Однако все попытки обнаружить нечто похожее на живое вещество на прилетающих из космоса телах не дали положительного результата. Некоторые исследователи полагают, что, даже если зародыши способны переносить холод и вакуум, они всё равно погибнут под действием ультрафиолетового излучения. Поэтому попытки создать теорию, объясняющую происхождение жизни на самой Земле, никогда не прекращались, несмотря на полное отсутствие их экспериментального подтверждения.

Теория Опарина – Холдейна

В 1924 г. вышла книга Александра Ивановича Опарина (1894–1980) «Происхождение жизни», которая вновь оживила интерес к уже почти забытой теории самозарождения. Опарин обратил внимание на то, что в определённых условиях молекулы белка могут образовывать сгустки – так называемые коацерваты. Эти коацерваты могут обмениваться с окружающей средой органическими веществами, расти и делиться, хотя сам процесс их роста и деления ни в коей мере не схож с ростом и делением клеток. Через несколько лет английский биохимик Джон Холдейн (1892–1964) предложил теорию, во многом схожую с теорией Опарина, с той лишь разницей, что в основу происхождения жизни были положены уже не белки, а нуклеиновые кислоты.

Принятая в настоящее время *теория биохимической эволюции* названа в честь её первооткрывателей – Опарина и Холдейна. Суть этой теории сводится к следующим основным положениям. Когда температура Земли опустилась ниже 100 °С, находящиеся в атмосфере пары воды сконденсировались, образовав моря и океаны. Состав атмосферы Земли в то время (а это было около 3,5 млрд лет назад) был совсем не таким, как на современной Земле. Современная атмосфера, как вы знаете, почти целиком состоит из азота и кислорода. В древней атмосфере эти газы отсутствовали, она состояла из аммиака, метана, водорода и хлора. После того как эти газы растворились в морской воде, из них стали образовываться простые органические вещества. Надо учесть, что температура и атмосферное давление на нашей планете в то время были очень высокими и, кроме того, постоянно ударяли молнии. Всё это способствовало синтезу органических соединений.

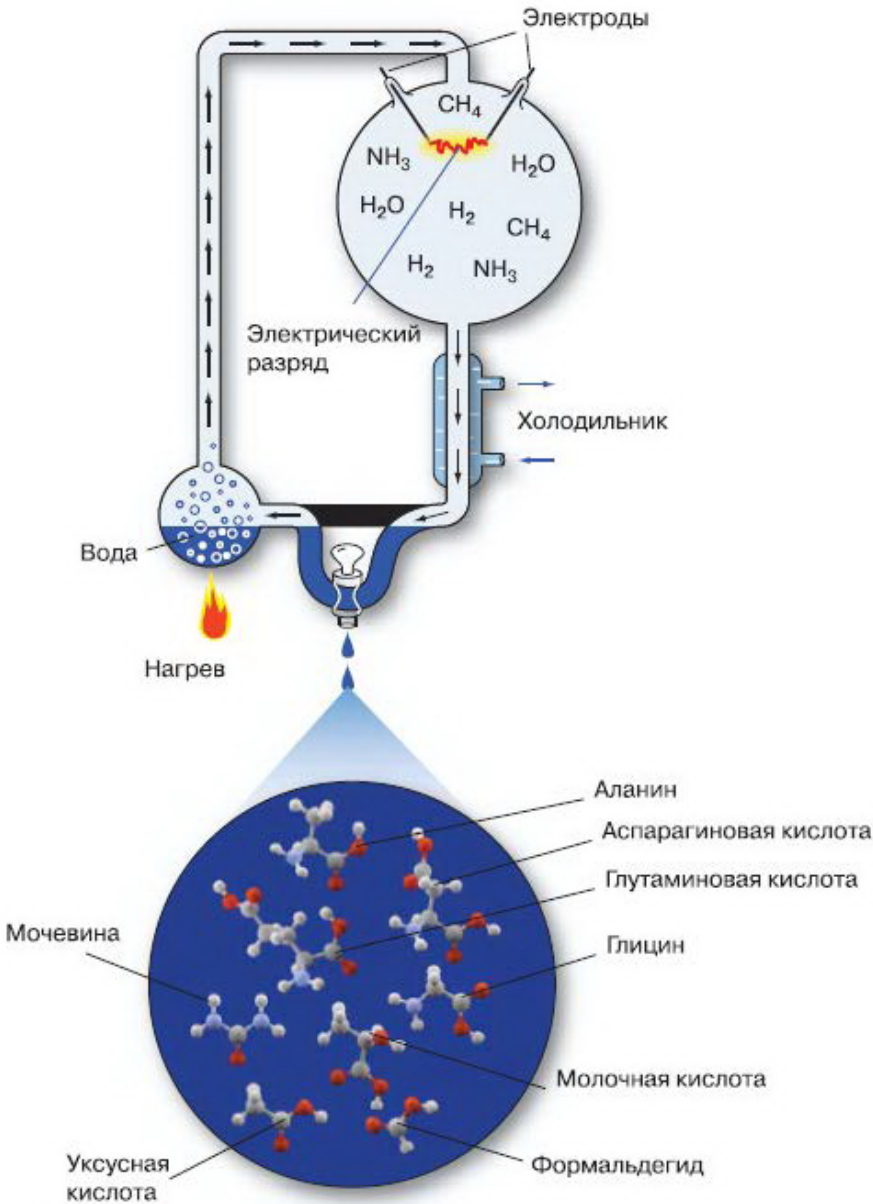


Рис. 137. Опыт С. Миллера

В 1955 г. английский исследователь С. Миллер собрал экспериментальную установку, где попытался воспроизвести условия, существовавшие на Земле 3,5 млрд лет назад (рис. 137). Он воссоздал на основании анализа вулканических газов первобытную атмосферу при большом давлении в колбе с водой, нагрел колбу до температуры около 80 °С и пропускал через колбу электрические разряды напряжением до 60 тыс. вольт. В результате в колбе образовался раствор нескольких простых

органических соединений – уксусной и муравьиной кислоты, мочевины, простых сахаров и нескольких аминокислот. Это доказывало, что на молодой Земле мог происходить синтез органических соединений без участия живых организмов, который был назван *абиогенным синтезом* органических веществ.

Растворившись в воде, органические вещества образовали, по выражению Холдейна, «первичный бульон». В этом бульоне органические молекулы постепенно усложнялись и укрупнялись, складываясь в простые белки, полисахариды и нуклеиновые кислоты, и в конце концов могли образовать коацерваты. Так как атмосфера того времени не содержала кислорода, коацерваты не окислялись, а, напротив, происходило их постепенное усложнение, и в определённый момент из них могли образоваться примитивные живые организмы – пробионты.

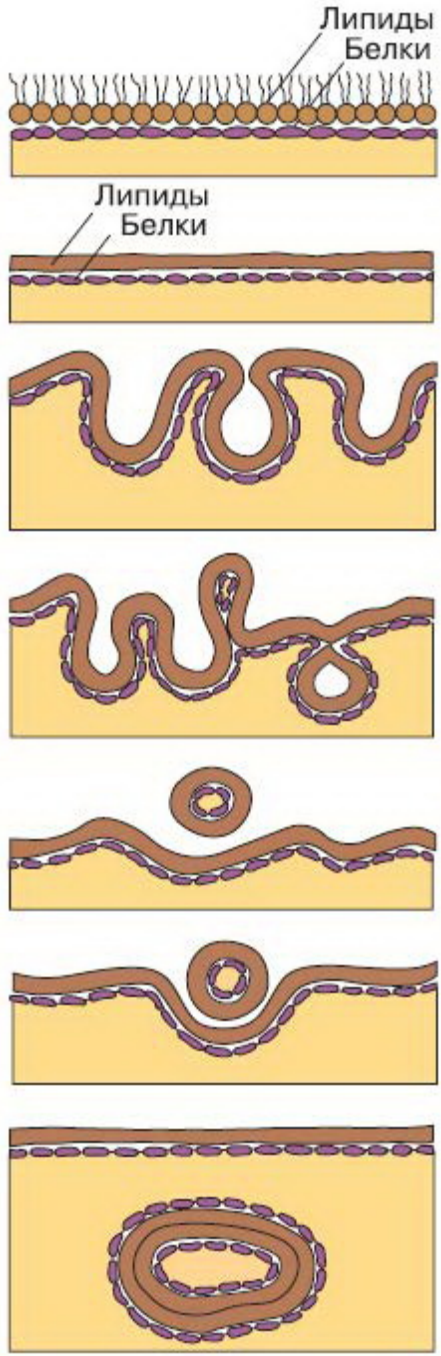


Рис. 138. Схема образования мембранных структур

Самая сложная проблема заключается в том, как могли возникнуть самовоспроизводящиеся клетки. Считается, что первыми нуклеиновыми кислотами были РНК, которые каким-то

образом стали кодировать синтез белков. Позже появились двухцепочечные ДНК, которые оказались способными к самокопированию и стали главным носителем генетической информации. Но мы знаем, что для осуществления процессов транскрипции и трансляции, т. е. для производства белков, необходимо наличие ферментов. А все ферменты – белки! Что же тогда возникло раньше – нуклеиновые кислоты, деятельность которых невозможна без белков, или белки, которые не могут возникнуть без нуклеиновых кислот?

Заключительным этапом появления на Земле живых клеток явилось образование у коацерватов клеточных *мембран,* без которых невозможна нормальная жизнедеятельность клетки (рис. 138). Мембраны, которые, как вы знаете, состоят из липидов и белков, могли образоваться из липидных плёнок, появляющихся на поверхности первичного бульона. Сюда могли поступать образующиеся в этом бульоне пептиды. Во время волнения воды липидные мембраны могли замыкаться в пузырьки, в которых оказывались нуклеиновые кислоты (скорее всего, РНК) и белки-ферменты. Дальнейшее усложнение процессов биохимической регуляции привело к появлению первых живых, способных к размножению клеток.

Проверьте свои знания

1. В чём заключается теория панспермии?
2. Чем отличалась атмосфера времени зарождения жизни от современной?
3. Какие результаты получил в своих экспериментах Миллер?
4. Каким образом могли образоваться клеточные мембраны?

§ 45 Первые эволюционные теории и возражения против них

В болотистых местах под влиянием солнца из смешения тёпло-сухого и мокро-холодного самопроизвольно произошли животные, достигшие высших степеней развития вместе с развитием Земли, даже человек в своём развитии прошёл стадии рыб и зверей.

Анаксимандр Милетский, греческий философ, VI в. до н. э.

Как следует из приведённого эпиграфа, представление об эволюции живой природы никак нельзя считать приобретением нового времени. Однако средневековые мыслители были вполне удовлетворены креационистской позицией, и вопрос об изменяемости видов не попадал в поле их внимания. Кроме того, надо помнить, что возраст Земли оценивался в то время приблизительно в 6 тыс. лет и ни о каком серьёзном изменении видов за такой период говорить не приходилось. Идея эволюционного развития стала вновь получать распространение в эпоху Возрождения, причём в первую очередь среди философов, а не биологов. Эту точку зрения разделяли Лейбниц, Кант, Гегель и другие философы, а французские просветители Дени Дидро (1713–1784) и Моро де Мопертюи (1698–1759) даже говорили о принципе естественного отбора.

Эволюционная теория Ж. Б. Ламарка

Создателем первой последовательной эволюционной теории считается Жан Батист де Ламарк (1744–1829).

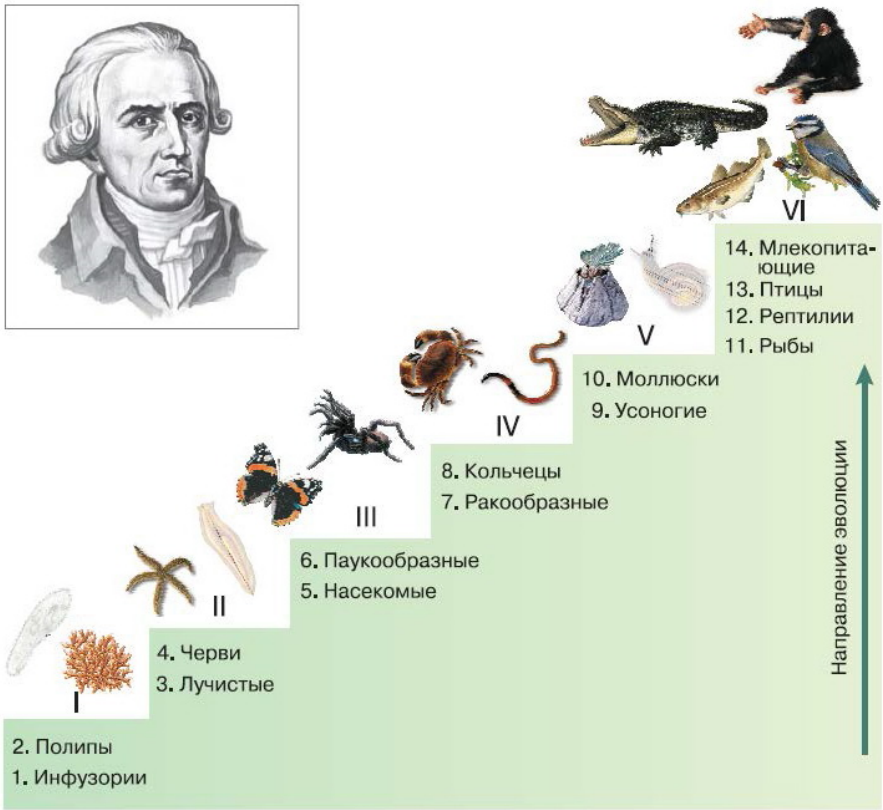


Рис. 139. Градации Ламарка. Ламарк считал, что первые организмы произошли из неорганической природы путём самозарождения. Их дальнейшее развитие привело к усложнению живых существ, поэтому классификация организмов не может быть произвольной, она должна отображать процесс движения от низших форм к высшим. Всех животных учёный разделил на 14 классов, которые распределил по степени усложнения организации, образовав 6 ступеней – градаций.

Он считал, что все живые организмы способны к развитию и обладают врождённым стремлением к совершенству (рис. 139). Развитие идёт в процессе взаимодействия с условиями окружающей среды, изменение которых является причиной изменения видов. Главной причиной эволюции Ламарк считал *возможность передачи потомству приобретённых при жизни признаков*. Особое значение он придавал упражнению или, напротив, неупражнению определённых органов. Предположим, что утка, перешедшая к жизни в воде и нашедшая там подходящую для себя экологическую нишу, пытаясь плыть, гребёт растопыренными пальцами.

В результате натяжения кожи между пальцами у неё вытягивается маленькая перепонка. От этой постоянно упражняемой части тела к половым железам направляются управляющие потоки – флюиды (Ламарк считал их электрическим током), которые так действуют на гаметы, что потомство этой утки рождается с крохотными перепонками между пальцами. Упражнение данной перепонки в течение всей жизни новой утки приводит к тому, что у её потомства перепонка увеличивается. И так продолжается до тех пор, пока после многих тысячелетий не появляется современная утка с пальцами, затянутыми перепонкой до самых кончиков. Напротив, если какой-либо орган животным не используется и регулярно не упражняется, то от него перестают течь флюиды к половым клеткам, в результате чего он деградирует, уменьшается в размерах или вообще исчезает. Так произошло, например, с костями таза у китообразных или с глазами у крота.

Работы Ж. Кювье

У эволюционных теорий того времени нашлись серьёзные оппоненты, главным из которых надо считать современника и земляка Ламарка Жоржа Кювье (1769–1832). Расцвет научной деятельности Кювье совпал с проведением интенсивных палеонтологических раскопок, позволивших обнаружить многочисленные виды древних, в настоящее время не существующих животных. Кювье создал сравнительную анатомию. Он считал, что строение и функции всех органов находятся в строгом соответствии друг с другом, а также с образом жизни, питанием и поведением данного животного. Он мог по одной

найденной кости путём строгих рассуждений восстановить облик целого организма. Впоследствии, когда удавалось раскопать полный скелет, оказывалось, что Кювье почти никогда не ошибался. Про него ходил такой анекдот. Однажды на Рождество в Сорбонне решили устроить маскарад. Один студент нарядился чёртом и, вбежав в кабинет Кювье, закричал: «Профессор! Сейчас я вас съем!» Кювье внимательно посмотрел на маскарадный костюм студента и спокойно сказал: «Так… Рога… Копыта… Травоядное! Ты не можешь меня съесть».

Именно сравнительная анатомия не позволяла Кювье согласиться с теорией Ламарка и других эволюционистов того времени. Дело в том, что Ламарк настаивал на постепенном и очень медленном изменении признаков организма, что привело его к мысли об отсутствии чёткой границы между видами. Кювье же настаивал на том, что изменения отдельных органов невозможны без перестройки всего организма в целом, а следовательно, постепенное изменение мелких признаков невозможно. В результате в 1830 г. в Парижской академии наук произошёл диспут, в котором участвовали Кювье и единомышленник Ламарка Жоффруа Сент-Илер. На этом диспуте креационист Кювье наголову разбил эволюциониста (или, как тогда выражались, трансформиста) Сент-Илера.

Для объяснения палеонтологических находок, содержащих останки вымерших животных, Кювье выдвинул *теорию катастроф*. Будучи убеждённым сторонником креационизма, он считал, что все виды животных и растений были созданы одновременно и с тех пор не изменялись. Однако за время существования жизни на Земле произошло несколько крупных катастроф (одна из них, известная как Всемирный потоп, описана в Библии). В результате этих катастроф некоторые виды погибли, а другие выжили, размножились и распространились по земному шару. Впоследствии Кювье признал, что после катастроф могли возникать и новые виды, более приспособленные к изменившимся условиям жизни на Земле.

Победа Кювье в диспуте с Сент-Илером надолго отвлекла научную мысль от идеи эволюционного развития жизни. Эта идея вновь, и уже навсегда, возникла после работ Чарлза Дарвина (1809–1982) и выхода в 1859 г. в свет его книги «Происхождение видов путём естественного отбора».

Проверьте свои знания

1. Какие положения лежат в основе эволюционной теории

Ламарка?

2. В чём состояли возражения Кювье Ламарку и Сент-Илеру?

3. Что утверждает теория катастроф?

4. Приведите доказательства, опровергающие возможность наследования благоприобретённых признаков.

Задания

Подготовьте дома изображения отдельных частей тела разных животных. Предложите одноклассникам по фрагментам описать облик животных, их образ жизни и способ питания.

§ 46 Дарвинизм и синтетическая теория эволюции

Научный успех Дарвина был в некоторой своей части и литературным. Читатель испытывал жесточайшую реакцию против всего сентиментального, кисло-сладкого, пуританского. Этот читатель всему на свете предпочитал характерное, картинам природы – социальные контрасты. Реализм Чарлза Дарвина пришёлся как нельзя более кстати. Его научная проза с её биографической сухостью, с её атмосферической зоркостью, с её характеристиками в действии, на взрывающихся пачками примерах была воспринята как литературно-библиографический документ.

О. Мандельштам. К проблеме научного стиля Дарвина

Дивергенция и искусственный отбор

Чарлз Дарвин, родившийся в семье врача, окончил Эдинбургский университет и получил прекрасное естественнонаучное образование. В 1832 г. его пригласили принять участие в кругосветном плавании на корабле «Бигль» в качестве натуралиста и собирателя коллекций (рис. 140).

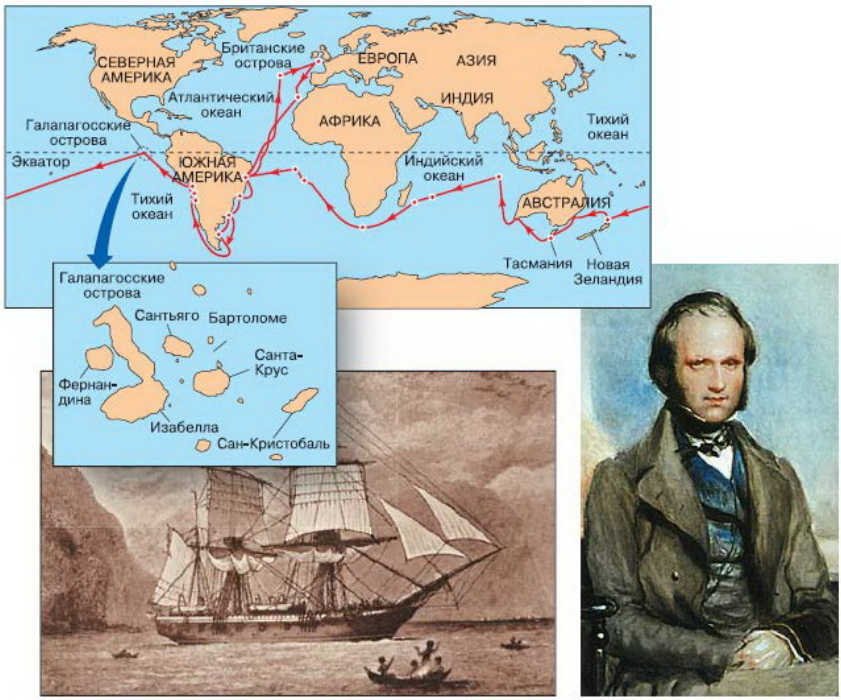


Рис. 140. Ч. Дарвин и маршрут его экспедиции

Во время этого путешествия Дарвин всё больше и больше убеждался в том, что виды живых организмов постепенно изменялись. Одним из ключевых наблюдений, подтолкнувших Дарвина к созданию его теории, было изучение галапагосских вьюрков.

Вьюрки – это семейство небольших птиц отряда Воробьинообразные, обитающее практически по всему земному шару. Живут они и в Южной Америке, и на Галапагосских островах, расположенных недалеко от этого материка, однако не настолько близко, чтобы маленькая птичка могла преодолеть разделяющее их водное пространство. Дарвин обнаружил на островах 13 различных видов вьюрков, отличных от материковых видов и различающихся между собой из-за того, что каждый из них занимал собственную, отличную от других, экологическую нишу (рис. 141).

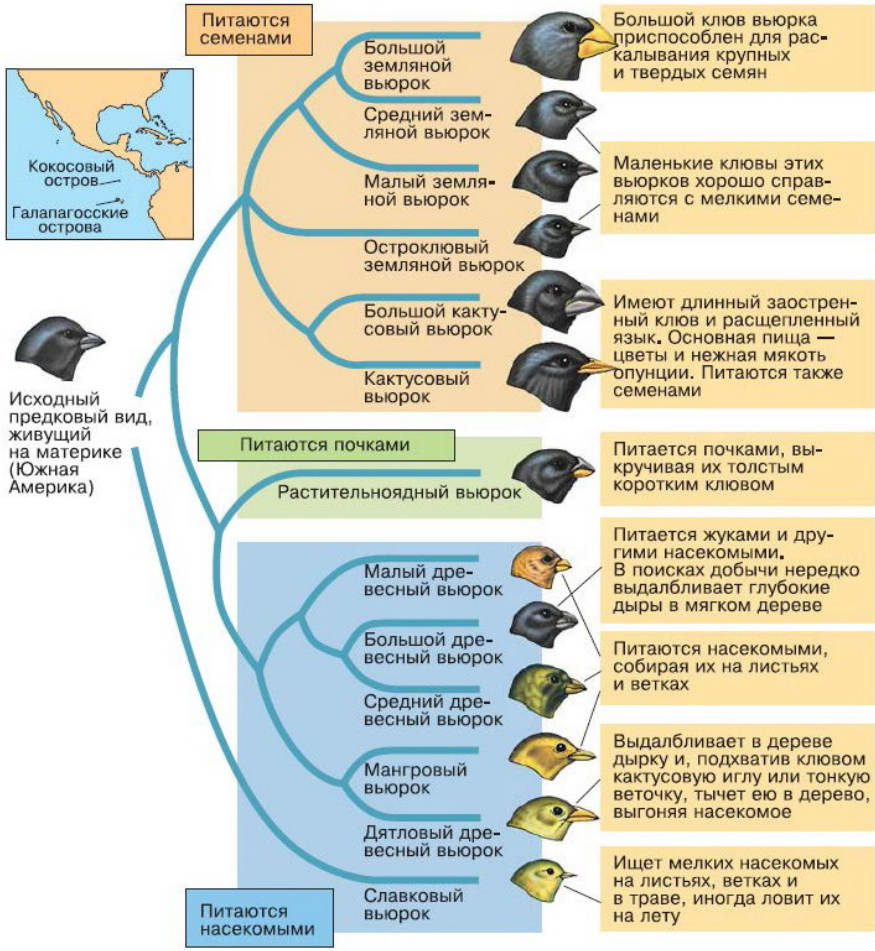


Рис. 141. Разнообразие вьюрков на Галапагосских островах

Было очевидно, что эти виды не зародились или тем более не были сотворены на островах, а произошли от общих предков, видимо, когда-то случайно занесённых с материка. Этот предок, очевидно, принадлежал к одному материковому виду, но в результате приспособления к островным условиям и конкуренции расселился по разным нишам и в результате изменил свой облик и распался на несколько различных видов.

Это заключение и привело Дарвина к мысли, что существующая в настоящее время флора и фауна постепенно, путём расхождения признаков *(дивергенции)* образовалась от вымерших предковых форм. Напрашивалось сравнение с селекцией, т. е. с выведением новых пород животных и сортов растений из изначально диких, одомашненных человеком, животных и растений (рис. 142). Желая получить наиболее выгодные для него формы живых организмов, например коров с

высоким удоем, кур, несущих большое количество яиц, или сладкие яблоки, человек отбирал особей с наиболее подходящими признаками и старался получить от них как можно больше потомства. То же он проделывал в следующем поколении и так далее много раз, пока не получал особь с требуемыми качествами. При этом потомки иногда разительно отличались от предков. Сравните волка с болонкой или дикого свирепого кабана с домашней свиньёй, с трудом встающей на ноги. Процесс выведения человеком новых пород и сортов называют ***искусственным отбором.***

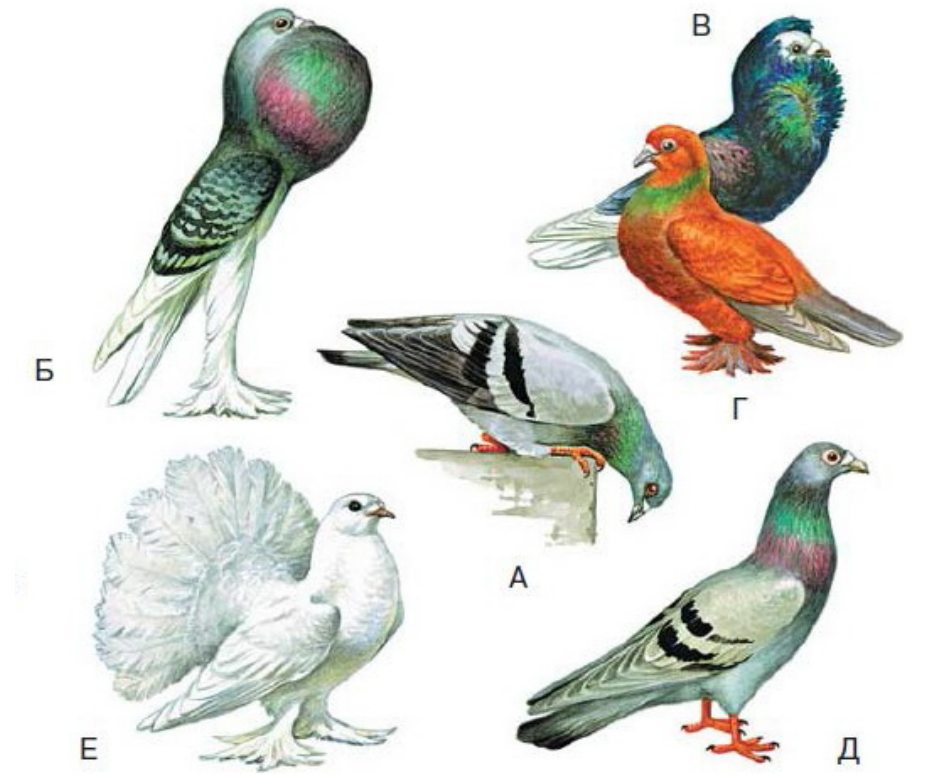


Рис. 142. Породы голубя: А – дикий; Б – дутыш; В – якобинец; Г – турман; Д – почтовый; Е – павлинный

Естественный отбор и борьба за существование

Дарвин предположил, что в природе в процессе происхождения видов осуществляется схожий отбор, но поскольку в этом случае нет человека, ставящего перед собой определённую цель, то этот отбор является не искусственным, а ***естественным.***

Каким же образом происходит отбор в отсутствие ставящего перед собой цели человека?

Дарвин предположил, что в основе естественного отбора лежит ***борьба за существование.*** Причиной же борьбы за существование является несоответствие между уровнем рождаемости животных и растений и возможностями окружающей среды обеспечить существование всех родившихся особей. Например, треска за один нерест вымётывает более миллиона икринок. Но поскольку в течение множества лет численность трески на Земле не увеличивается, то значит, что до состояния половой зрелости из этого огромного числа доживают только две рыбы, так как потомства должно быть столько же, сколько родителей. Папоротник разбрасывает за сезон около миллиарда спор, но поскольку мы не видим разрастания зарослей этого растения, то должны сделать вывод, что из этого миллиарда до состояния взрослого куста дорастает только одна спора. Все остальные икринки, споры, семена или детёныши *обязаны погибнуть,* не успев произвести потомства. Это и есть борьба за существование, в которой побеждают и выживают наиболее приспособленные особи.

Дарвин выделял три вида борьбы за существование. Первая – это *внутривидовая борьба,* т. е. конкуренция между особями одного вида. Дарвин считал её самой напряжённой, поскольку эти особи занимают одну и ту же экологическую нишу и имеют одинаковые потребности, а следовательно, между ними существует постоянная конкуренция: за пищу, убежище, полового партнёра и пр. Второй вид борьбы за существование – *межвидовая борьба.* Это может быть отношение хищник – жертва или конкуренция между видами с частично пересекающимися экологическими нишами. Третьим видом является *борьба с неблагоприятными условиями окружающей среды* – возможность или стремление попасть в условия с оптимальной освещённостью, влажностью, содержанием минеральных веществ и пр. В результате борьбы за существование и происходит естественный отбор наиболее приспособленных к данным условиям представителей вида. Например, в результате борьбы волков и оленей выживут самые быстроногие волки, которые смогут догнать и съесть оленя, и самые быстроногие олени, которые смогут избежать нападений волков и успеть оставить потомство.

Причиной эволюционного прогресса Дарвин считал индивидуальную наследственную изменчивость организмов[16]. Если у какого-либо животного или растения произойдёт изменение некоторого признака, дающее ему преимущества в борьбе за существование, то этот организм имеет больше шансов

дожить до половой зрелости и оставить потомство. Это потомство получит признак по наследству и, в свою очередь, будет иметь преимущества в борьбе за существование. Популяция таких особей с полезным изменённым признаком будет разрастаться и может в конце концов дать начало новому виду, существенно отличающемуся от вида-предка.

Развитие дарвинизма

По мере развития биологии и особенно появления таких наук, как генетика и экология, учение Дарвина стало развиваться и видоизменяться. Генетика внесла заметные уточнения в представления Дарвина и его первых последователей о механизмах наследственности. Вместо неопределённого понятия «изменчивость», ответственной за которую считали неопределённую субстанцию организма, иногда даже кровь, появилось понятие мутации. Его ввёл в науку в 1901 г. голландский ботаник Гуго де Фриз. Мутации – небольшие изменения в хромосомах или отдельных генах – чаще всего бывают вредными или безразличными, но иногда могут возникать и полезные мутации. Если мутации рецессивные, то они могут долго «путешествовать» по генофонду популяции, передаваясь из поколения в поколение, до тех пор пока условия не изменятся настолько, что определяемый мутацией признак станет полезным. Тогда обладатели двух копий мутированного гена, у которых проявится оказавшийся полезным признак, получат преимущество в борьбе за существование и, размножаясь, увеличат в генофонде частоту этих новых полезных аллелей.

Существенный вклад в теорию эволюции внесли и экологические исследования. Если во времена Дарвина в качестве единицы эволюции рассматривали отдельную особь, то сейчас такой единицей считают популяцию. Продолжительность жизни каждого организма слишком мала в масштабах эволюции, и к тому же изменить свою наследственность в течение жизни организм не может. Популяция же существует в течение очень продолжительного времени и в течение этого времени сохраняет и проявляет самые разные мутации.

Теория, объединяющая в своей основе учение Дарвина о естественном отборе с достижениями XX в. в области генетики и экологии, получила название *синтетической теории эволюции (СТЭ)* и позволила объяснить многие эволюционные процессы, особенно процессы микроэволюции.

Проверьте свои знания

1. В чём состоит цель работы селекционера?

2. Что лежит в основе борьбы за существование? Назовите виды борьбы за существование. Приведите примеры разных видов борьбы за существование в природе.

3. Какие изменения внесли в дарвинизм достижения генетики и экологии?

Задания

1. Сравните искусственный и естественный отбор. В чём их сходство и различия? Выберите критерии, составьте и заполните таблицу «Сравнительная характеристика искусственного и естественного отбора».

2. Организуйте и проведите дискуссию на тему «Может ли эволюция идти на уровне одной особи?».

§ 47 Микроэволюция и видообразование

Времена меняются, и мы меняемся вместе с ними.

Гораций

Микроэволюцией называют изменения, происходящие в популяциях и приводящие к образованию нового подвида или вида. Материалом для микроэволюции, согласно СТЭ, служит наследственная изменчивость. Изменения в геноме имеют случайный и ненаправленный характер. Они могут быть результатом комбинативной или мутационной изменчивости. Следствием этих изменений может стать появление новых свойств и признаков. Если новые признаки окажутся полезными, то их обладатели получат преимущество в борьбе за существование, следовательно, их потомство будет становиться всё более и более многочисленным. В конце концов признак может распространиться на всю популяцию. Например, если в какой-то области климат станет более холодным, то этот факт никак не повлияет на гены, определяющие длину и густоту шерсти обитающих там животных. Но если у кого– нибудь из них случайно произойдёт мутация, вызывающая увеличение теплоизоляции организма, то потомки счастливого обладателя этой мутации будут побеждать в борьбе за существование своих менее удачливых собратьев. А вот признаки, являющиеся результатом модификационной изменчивости, которые изначально имеют приспособительный характер, не наследуются[17]и в эволюционном процессе участия не принимают.

Формы отбора

Строго говоря, для изменения структуры и общего фенотипа популяции можно обойтись и без новых мутаций. Отбор часто даёт преимущества тем признакам, которые уже существовали, но при прежних условиях были бесполезными.

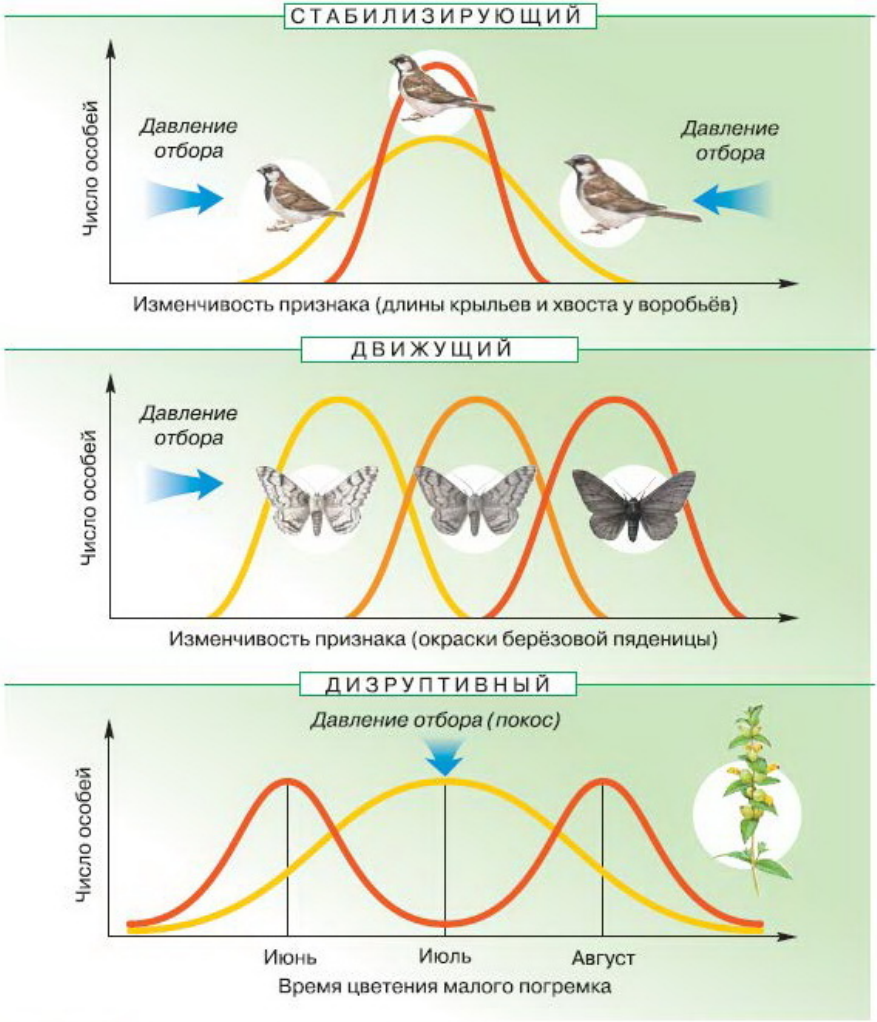


Рис. 143. Формы естественного отбора

Мы рассмотрим три формы отбора, которые выделял русский биолог-эволюционист Иван Иванович Шмальгаузен (1884–1963). Первый из них действует тогда, когда условия, в которых обитает популяция, не изменяются. Такой отбор называют *стабилизирующим* (рис. 143, А). Предположим, что речь идёт всё о той же густоте шерсти. При определённом климате наиболее предпочтительной будет определённая густота, поэтому именно она будет свойственна большинству животных.

Это изображено на графике, где по оси абсцисс отложена густота шерсти, а по оси ординат – доля членов популяции, которые именно такой густотой обладают. Видно, что для большинства животных характерна средняя частота, хотя имеются отклонения от этого значения как в меньшую, так и в большую

сторону. Почему животные с такими отклонениями составляют меньшинство? Потому, что им либо слишком холодно, либо слишком жарко, и они оказываются неудачниками в борьбе за существование. Они не могут выживать и оставлять потомство в достаточном количестве. Поэтому такой отбор и называют стабилизирующим – он сужает область, в пределах которой может изменяться некий признак, и удерживает среднее значение признака на постоянном уровне.

Теперь предположим, что климат изменился в сторону похолодания. Теперь те животные, у которых густота шерсти превышает среднюю, получат преимущество и начнут усиленно размножаться; те, у которых шерсть была короткой и редкой, не выдержат низкой температуры и погибнут. Те же, которые обладали в прошлом оптимальной, т. е. средней густотой, останутся, но в гораздо меньшем, чем прежде, количестве. Как видно на рисунке, график распределения сдвинется, характер популяции изменится. Такой вид отбора называется ***движущим*** или ***прогрессивным*** (рис. 143, Б).

Третью форму отбора называют ***расщепляющей*** или ***дизруптивной*** (рис. 143, В). Представим себе, что на графике теперь показана не густота шерсти животных, а их размер. В существующих условиях оптимальным является какой-то средний размер, и большинство представителей популяции имеют именно его. Теперь предположим, что в места, где обитает эта популяция, мигрировал новый хищник, который предпочитает питаться именно этим видом животных. Но с крупными особями ему будет трудно справиться, а мелкие найдут себе подходящее убежище. Тогда страдать, а следовательно, снижать свою численность, придётся животным среднего размера. В результате через некоторое время исходная популяция распадётся на две части – «великаны» и «карлики». Так как из-за большого различия в размерах им будет сложно спариваться друг с другом и производить общее потомство, то, по сути, мы вместо единой популяции получим две, так как мы знаем, что одним из основных критериев популяции является свободное скрещивание её представителей. Между двумя частями популяции возникнет то, что называют *репродуктивной изоляцией.* В результате каждая популяция будет обладать собственным, отличным от другой популяции, генофондом.

Дрейф генов

К изменению генофонда популяции часто приводит процесс,

который называется *дрейфом генов* и представляет собой случайное изменение частот аллелей в популяции. Представим себе, что на берегу широкой реки живёт популяция мышей, имеющая достаточно редкий аллель, которым обладают 5 % её представителей. Допустим, что в какой-то момент к берегу реки прибивает бревно на которое с исследовательской целью забираются десять мышей (рис. 144). После этого бревно вместе с находящимися на нём мышами сносится течением и в конце концов прибивается к острову, на котором никакие мыши до этого не обитали. Наши мыши выходят на остров, поселяются там, начинают размножаться и создают новую популяцию. Предположим, что у трёх из десяти забравшихся на бревно мышей в генотипе был этот редкий аллель. Тогда в результате размножения частота этого гена в островной популяции будет уже не 5, а 30 %, что может существенно повлиять на внешний вид и образ жизни этой популяции. Если же среди мигрантов случайно не окажется ни одного носителя редкого гена, то в островной популяции он будет вообще отсутствовать. Так или иначе через некоторое время береговая и островная популяции будут значительно отличаться друг от друга.

Ещё одной причиной, которая может вызвать дрейф генов, являются так называемые ***популяционные волны.*** Мы знаем, что численность популяции – величина непостоянная.

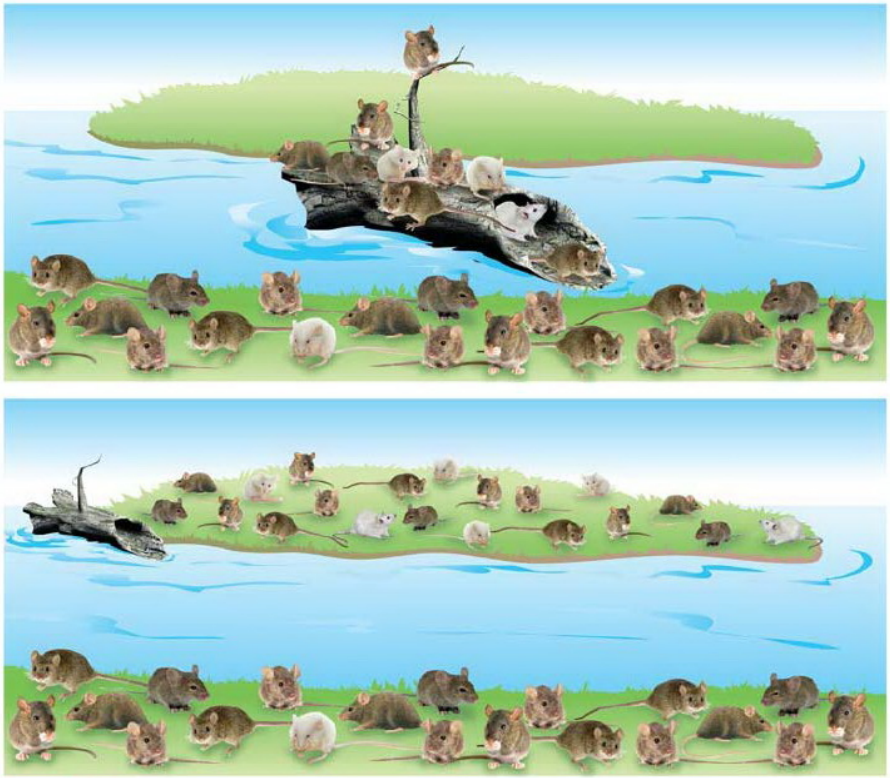


Рис. 144. Дрейф генов в результате переселения мышей на остров

Мы уже рассматривали колебания, которые возникают благодаря взаимодействию хищника и жертвы. Кроме того, существуют сезонные колебания, когда зимой из-за бескормицы и переохлаждения значительная часть популяции погибает, а весной вновь начинается интенсивное размножение. В период резкого снижения численности популяции соотношение аллелей и число мутантных генов в её генофонде случайно может измениться. Например, доля обладателей редких мутаций случайно может оказаться выше или ниже, чем она была во время предыдущего пика численности. Тогда после восстановления численности популяции её генофонд окажется уже иным по сравнению с тем, каким он был до её спада.

Изоляция

Итак, мы видим, что генофонд популяции может изменяться в силу тех или иных причин. Иногда популяция, как в случае расщепляющего отбора или миграции мышей на остров, может

разделиться на две различные популяции, которые окажутся изолированными друг от друга. Если такая изоляция будет продолжаться недолго (например, если брёвна будут часто переправляться с берега на остров и обратно или если к острову вскоре проложат мост), то животные смогут вновь производить совместное потомство и вновь сольются в единую популяцию. Однако если изоляция окажется долгой, то вновь образовавшиеся популяции начнут всё более и более отдаляться друг от друга. Причиной этого могут быть различные условия жизни на разных территориях, т. е. различный характер отбора, или случайные мутации, по-разному возникающие в разделённых группах.

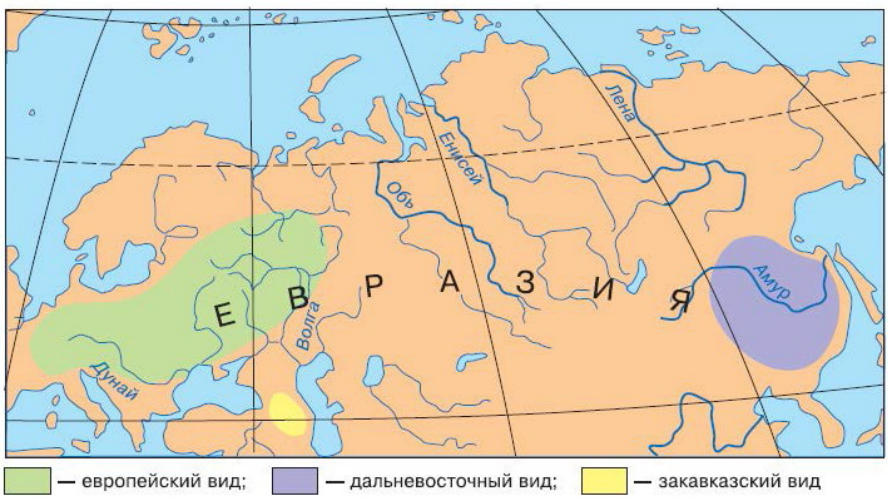


Рис. 145. Возникновение новых видов ландыша в результате географической изоляции

Так или иначе усугубляющиеся различия могут привести к тому, что исходная популяция распадётся окончательно и возникнут два различных вида.

Основным фактором видообразования СТЭ считает изоляцию. Различают ***географическую*** и ***репродуктивную (экологическую)*** изоляцию и соответственно географическое и экологическое видообразование. Примером первой может быть рассмотренное переселение мышей на остров. Географическая изоляция может также возникнуть в результате образования горных разломов, изменения русла рек, вырубки больших участков леса под пашни и пр. (рис. 145). Возможный вариант репродуктивной изоляции мы тоже рассматривали. Можно привести и другие примеры, в том числе широко известную ситуацию с рыбами, которые откладывают икру один раз в два года. Тогда те рыбы, нерест

которых происходит по нечётным годам, не могут обмениваться генами с теми, которые размножаются по чётным. В результате возникает репродуктивная изоляция, которая со временем может привести к появлению двух различных видов рыб.

Проверьте свои знания

1. Какие виды изменчивости имеют эволюционное значение?
2. Какие формы отбора различал И. И. Шмальгаузен?
3. Что такое дрейф генов? Как он возникает и к каким последствиям может привести?
4. Какие факторы видообразования вы знаете?
5. Обсудите, какие антропогенные факторы могут повлиять на видообразование. Существуют ли в вашем регионе подобные факторы?

Задания

1. Выберите критерии и проведите сравнение географической и экологической изоляции. Оформите результаты в виде таблицы.
2. У лугового растения погрёмка в средней полосе России существует две чётко выраженные популяции: одна из них цветёт в июне, а растения другой – в августе. Попробуйте объяснить, чем было вызвано подобное разделение 3. Рассмотрите рисунок 146. Какой тип видообразования изображён на этом рисунке – географический или экологический? Объясните свою точку зрения.

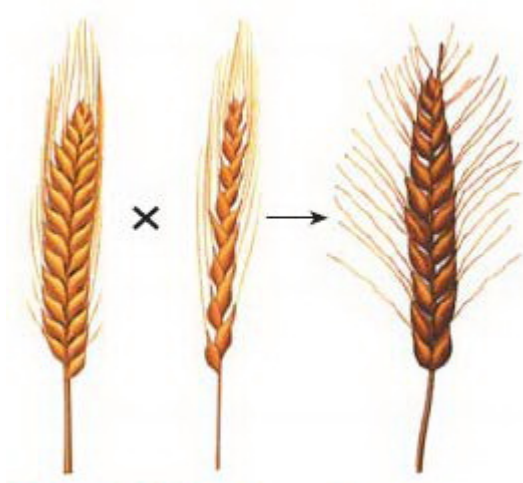


Рис. 146. Образование нового вида пшеницы

§ 48 Доказательства эволюции

Как некогда в разросшихся хвощах
Ревела от сознания бессилья
Тварь скользкая, почуя на плечах
Ещё не появившиеся крылья.

Н. Гумилёв. Шестое чувство

Мы рассмотрели механизмы эволюционных изменений, происходящих в популяциях внутри одного вида. Но преобразования видов в конце концов затрагивают и более высокие ступени организации. Процесс формирования крупных систематических единиц: из видов – новых родов, из родов – новых семейств и т. д. – называют ***макроэволюцией***. В основе макроэволюции лежат те же движущие силы, что и в основе микроэволюции: наследственность, изменчивость, естественный отбор и репродуктивная изоляция. Этот термин впервые ввёл в 1927 г. советский генетик Ю. А. Филипченко.

Эволюция – это очень длительный исторический процесс, который невозможно непосредственно наблюдать на протяжении ограниченного времени. Процессы формирования крупных таксонов могут продолжаться сотни миллионов лет. Реальное существование эволюционных процессов подтверждают факты, полученные разными естественными науками: палеонтологией, морфологией, систематикой, эмбриологией и многими другими. Рассмотрим основные имеющиеся на сегодняшний день доказательства существования макроэволюции.

Биохимические и цитологические доказательства

Все виды живых организмов имеют одинаковый генетический код, механизмы синтеза белка и запасания энергии, один и тот же принцип строения клетки и другие общие молекулярно-биологические и цитологические признаки. Это доказывает, что основы строения всего живого были заложены уже в первых существовавших на Земле организмах и дальнейшие изменения не затрагивали эти основные общие свойства.

Эмбриологические доказательства

В 1828 г., задолго до выхода книги Ч. Дарвина «Происхождение видов…», российский учёный Карл Максимович Бэр (1792–1876) показал, что зародыши отдалённых групп животных имеют очевидное сходство: все они проходят через стадии бластулы, гаструлы, у них формируются эктодерма, энтодерма и мезодерма и развиваются другие общие признаки (рис. 147). Это открытие Бэра было названо *законом зародышевого сходства,* которому Дарвин придавал большое значения как свидетельству происхождения видов от общего предка. Впоследствии, обобщив эти данные, немецкие учёные Эрнст Геккель и Фриц Мюллер сформулировали *биогенетический закон: «Индивидуальное развитие* (*онтогенез*) *организма есть краткое и сжатое повторение исторического развития (филогенеза) вида, к которому этот организм относится».*

Рис. 147. Сходство эмбрионов позвоночных на ранних стадиях развития (рыба, амфибия, черепаха, птица, человек)

Стадия бластулы напоминает колонию одноклеточных

животных, гаструла отражает общий план строения кишечнополостных. В дальнейшем у наземных позвоночных закладываются жабры, у зародыша человека – хвост и пр. Такой же вывод можно сделать, наблюдая за личинками некоторых насекомых. Вспомните, что во времена Реди личинок мух считали червями, от которых мухи действительно произошли в процессе эволюции.

А личинка лягушки – головастик по своему строению напоминает рыбу, эволюционного предка земноводных.

Таким образом, в процессе развития зародыша проявляются признаки, характерные для его далёких предков.

Атавизмы и рудименты

Важным анатомическим доказательством эволюции служат рудименты и атавизмы.

Атавизмы – это появляющиеся у отдельных особей данного вида признаки, которые существовали у отдалённых предков, но были утрачены в процессе эволюции. Например, появление трёхпалой конечности у современных лошадей, развитие дополнительных пар молочных желёз, хвоста или сплошного волосяного покрова у человека (рис. 148, А). Возникновение атавизмов объясняется тем, что гены, отвечающие за развитие этих признаков, в процессе эволюции сохранились, но при нормальном развитии их действие блокируется.

Рудименты – это органы, утратившие в процессе эволюции своё значение. Они закладываются во время эмбриогенеза, но полностью не развиваются.

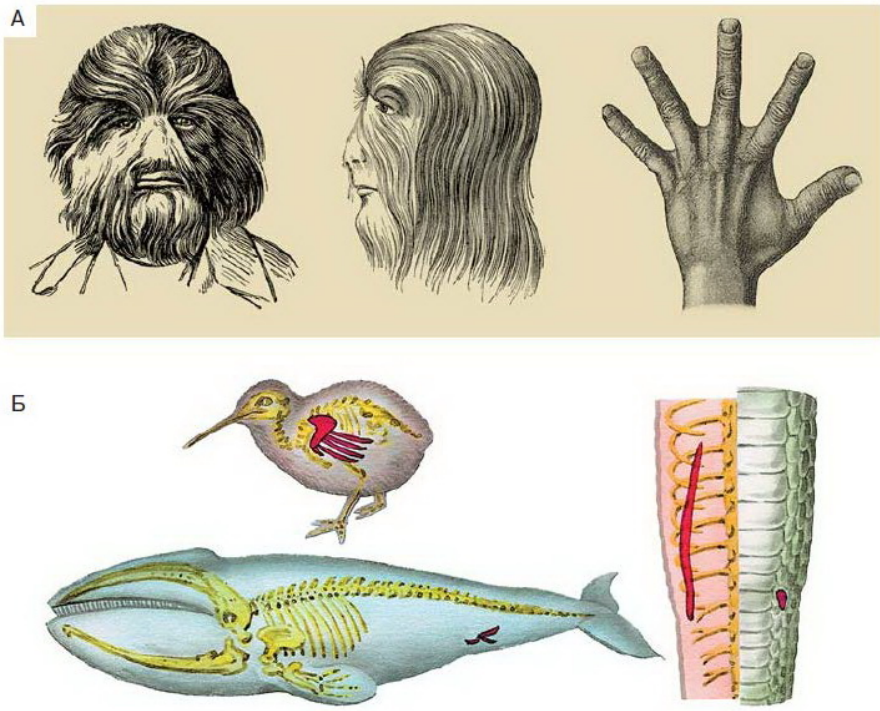


Рис. 148. Атавизмы (А) и рудименты (Б)

Когда-то у далёких предковых форм эти органы имели важное значение, но в дальнейшем в связи с изменениями условии существования перестали быть необходимыми. Примерами рудиментов могут служить неразвитые кости задних конечностей и остатки тазового пояса у китообразных, хвостовые позвонки и ушные мышцы у человека (рис. 148, Б). В отличие от атавизмов, рудименты присутствуют у всех представителей вида.

Иногда в процессе эволюции в определённых условиях среды получает преимущество и сохраняется некая *переходная форма,* соединяющая в себе признаки разных классов. Например, утконос и ехидна относятся к млекопитающим, но откладывают яйца и имеют клоаку как и пресмыкающиеся, а у кистепёрой рыбы латимерии, кроме жабр, есть примитивные лёгкие, а её парные плавники обладают мускулатурой и напоминают по строению конечности наземных позвоночных.

Палеонтологические доказательства

Изучение ископаемых остатков живых организмов, их следов и отпечатков, обнаруженных в разных геологических слоях, позволяет проследить историческое развитие живой природы. В

наиболее древних породах разнообразие организмов невелико, и все они имеют относительно простое строение. В более молодых отложениях остатки имеют всё более сложное строение, и их видовое разнообразие гораздо шире.

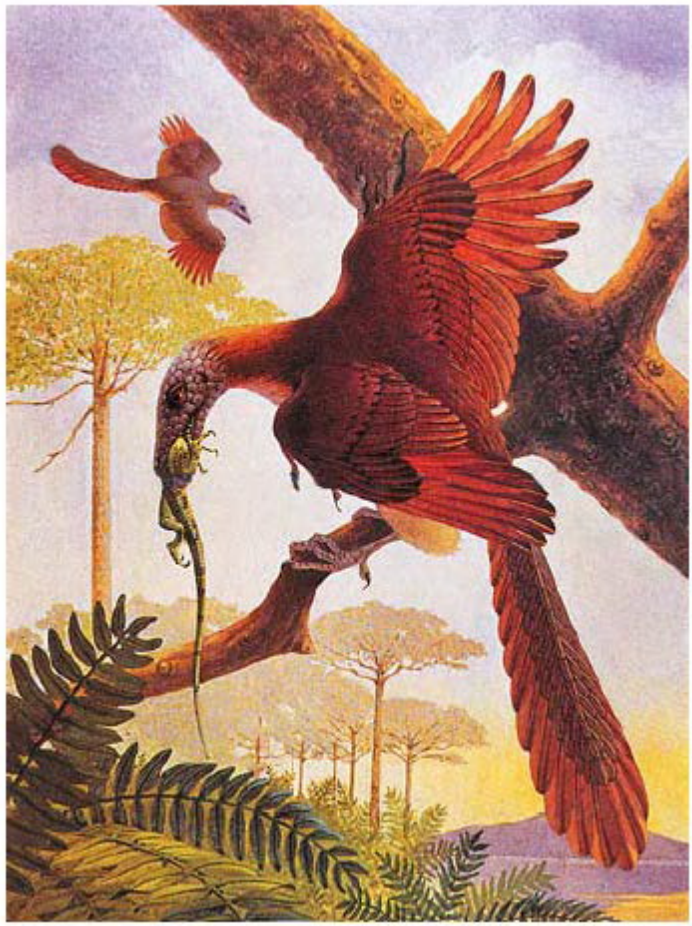


Рис. 149. Археоптерикс

Учёные обнаружили много вымерших переходных форм между ныне живущими и ископаемыми организмами, например зве– розубые ящеры, напоминающие по строению зубов и скелета млекопитающих, археоптерикс, сочетающий признаки птиц (общий вид, строение конечностей, перья на теле) и пресмыкающихся (наличие зубов, брюшных рёбер) (рис. 149).

В некоторых случаях по ископаемым остаткам учёным удалось установить, как проходил *филогенез* (историческое развитие) определённой группы организмов. Владимиру Онуфриевичу Ковалевскому (1842–1883) удалось проследить

эволюцию лошади с начала кайнозойской эры (рис. 150). Предки лошадей произошли от невысоких всеядных животных с пятипалыми конечностями. Первый представитель семейства лошадей эогиппус имел четырёхпалые передние и трёхпалые задние конечности. В дальнейшем, когда тропические леса уступили место степям, основным средством защиты стал быстрый бег. Естественный отбор у древних лошадей шёл в направлении удлинения конечностей, уменьшения площади опоры, т. е. уменьшения числа пальцев, усиления мускулатуры и позвоночника. Найденные ископаемые формы, позволившие реконструировать последовательный эволюционный ряд лошади, подтверждают эволюционную теорию.

Проверьте свои знания

1. Чем отличается макроэволюция от микроэволюции?
2. Докажите существование эволюции с точки зрения эмбриологии.
3. Расскажите о палеонтологических доказательствах эволюционного процесса.
4. В чём причина появления рудиментов и атавизмов? Объясните, почему наличие рудиментов и атавизмов можно считать доказательствами процесса эволюции.

Эпоха и возраст	Род, внешний вид и высота (в холке)	Кости правой передней ноги	Образ жизни и изменения в строении тела
Современная эпоха и плейстоцен 1 x 10^6 лет	Лошади До 1,6 м		Адаптированы к жизни в сухих степях. Очень быстро бегают. Пястье и плюсневые кости удлинены. Расширенная 3-я фаланга покрыта роговым копытом (видоизмененный коготь)
Миоцен 26 x 10^6 лет	Меррикгиппус До 1,0 м		Очень сухая среда – прерии. Быстрота бега становится важнее. Редукция 2-го и 4-го пальцев. При беге опора на 3-й палец. Удлинение оставшихся пястных и плюсневых костей
Олигоцен 38 x 10^6 лет	Мезогиппус До 0,6 м		Сухая среда – леса и прерии. Быстрота передвижения важна для бегства от врагов. Хорошо различимы только три пальца. 3-й палец сильно увеличен
Эоцен 54 x 10^6 лет	Эогиппус Примерно 0,4 м		Величиной с лисицу. Обитал на мягкой почве вблизи рек. Четыре пальца на передних и три на задних ногах увеличивали площадь опоры

Рис. 150. Эволюция лошади

Задания

Используя дополнительную литературу и ресурсы Интернета, выясните, для какого ещё вида, кроме лошади, составлено полное филогенетическое древо. Подготовьте презентацию или сообщение на эту тему.

§ 49 Типы эволюционных изменений и направления эволюции

Типы эволюционных изменений

Основными типами эволюционных изменений являются дивергенция, конвергенция, параллелизм и филетическая эволюция.

Дивергенция. Дивергенция (от лат. «диверго» – отклоняюсь) – это наиболее распространённый тип эволюционного процесса. При этом происходит образование двух или более таксонов, происходящих от общего предка. Такое расхождение признаков и групп происходит в том случае, если меняются условия обитания дочерней группы. Например, освоить наземную среду древним позвоночным животным помогло появление пятипалой конечности рычажного типа. Однако в зависимости от образа жизни и типа местообитания конечности разных групп позвоночных претерпели существенные изменения и выполняют сейчас разные функции. Такие органы, имеющие общее происхождение и выполняющие разные или сходные функции, называют *гомологичными органами* (рис. 151).

Рис. 151. Принципиальное строение конечностей позвоночных животных

Рис. 152. Аналогичное строение крыльев бабочки и летучей мыши (А), конечностей медведки и крота (Б)

Конвергенция. *Конвергенция* (от лат. «конверго» – приближаюсь, схожусь) – это тип эволюционного изменения, в результате которого сходные признаки возникают у организмов, не родственных друг другу, т. е. имеющих различное происхождение. Чаще всего конвергенция возникает при заселении разными видами организмов сходных типов местообитаний. Таким образом, конвергентное сходство является результатом приспособлений к одинаковым условиям внешней среды. Похожи жабры рыбы и жабры рака, выполняющие дыхательные функции. Однако жабры рыбы развиваются на перегородках между жаберными щелями, пронизывающими глотку, а жабры рака – это нитевидные выросты конечностей груди. Крылья бабочек и летучих мышей, роющие конечности кротов и медведок – все эти органы формируются из разных эмбриональных зачатков (рис. 152). Особенно поразительным является пример потрясающего сходства глаз позвоночных и головоногих моллюсков, имеющих абсолютно разное происхождение, но почти одинаковое строение. Органы, выполняющие сходные функции, но имеющие разное происхождение, называют *аналогичными.*

Параллелизм. *Параллелизм* – это тип эволюционных изменений, результатом которого является образование сходных признаков у родственных форм. Например, китообразные и ластоногие независимо друг от друга перешли к обитанию в водной среде и приобрели соответствующие приспособления – ласты. Известное общее сходство имеют млекопитающие тропического пояса, обитающие на разных континентах, в близких климатических условиях (рис. 153).

Филетическая эволюция. *Филетическая эволюция* – это такой тип эволюционных преобразований, при которых предковые таксоны постепенно преобразуются в новые (дочерние) без образования боковых ветвей. При этом образуется непрерывный ряд таксонов, в котором каждый является потомком предыдущего и предком последующего.

Главные направления эволюции

Развитие живой природы – это длительный и сложный процесс. В целом развитие органического мира происходило от простого к сложному. На основе простых одноклеточных форм появлялись многоклеточные организмы. Организмы усложнялись – возникали ткани, органы и системы органов. Крупные эволюционные изменения позволяли организмам осваивать новые места обитания или новые источники питания. С помощью частных приспособлений организмы адаптировались к конкретным условиям обитания. В некоторых случаях оказывалось более выгодно перейти к сидячему образу жизни или паразитизму, и это вело к упрощению организации. Так, зародившись в океане, жизнь постепенно заняла всю планету.

Анализируя историческое развитие живой природы и конкретные адаптации, возникающие в процессе эволюции, российские учёные Алексей Николаевич Северцов и Иван Иванович Шмальгаузен определили три главных направления прогрессивной эволюции: ароморфоз, дегенерация и идиоадаптация.

Ароморфоз (арогенез). *Ароморфоз* – это крупное эволюционное изменение, ведущее к общему усложнению организации. Ароморфозы позволяют организмам осваивать принципиально новые местообитания или существенно повышать свою конкурентоспособность в прежних местообитаниях. Они сохраняются в дальнейшей эволюции и приводят к появлению крупных систематических групп, рангом выше семейства.

Один из первых крупнейших ароморфозов – появление эукариотической клетки. Общими ароморфозами для всех царств эукариотов стали появление многоклеточности и возникновение полового размножения. В эволюции животных важнейшими ароморфозами можно считать формирование сквозной пищеварительной системы, образование первичной и вторичной полостей тела, замену гладкой мускулатуры (у червей) на поперечно-полосатую (у членистоногих), возникновение замкнутой системы кровообращения, оформление скелета (внутреннего или внешнего), развитие нервной системы, появление теплокровности, живорождения. В качестве примеров крупных ароморфозов в растительном царстве можно привести появление проводящей системы, связавшей части растения в единое целое, формирование семени (голосеменные и покрытосеменные растения), появление цветка.

Рис. 153. Вторичное сходство бывших родственных форм: тело панголина (А) и гигантского броненосца (Б)

***Общая дегенерация* (*катагенез*).** *Общая дегенерация* – это эволюционное изменение, ведущее к упрощению организации, к утрате ряда систем и органов. Как правило, дегенерация возникает в связи с переходом организмов к паразитизму или малоподвижному образу жизни. У паразитических ленточных червей нет пищеварительной системы, слабо развиты нервная система и органы чувств. Однако взамен у них появляются хорошо развитая половая система и различные частные приспособления – присоски, крючки, которые помогают им удержаться в кишечнике хозяина. Высокая плодовитость и жизнь под защитой тела хозяина ведут к процветанию вида-паразита, однако ставят его в тесную зависимость от вида– хозяина.

Паразитизм в природе распространён очень широко у грибов, червей, бактерий и других организмов. Среди растений тоже есть свои паразиты, утратившие способность к фотосинтезу. Повилика – растение семейства Вьюнковые – паразитирует на льне, клевере, картофеле и других растениях. Обвиваясь вокруг растения-хозяина, она внедряет в его ткань присоски и питается его соками.

Редукция органов может происходить также при переходе к малоподвижному образу жизни или при резком сужении экологической ниши. Например, потеря зрения у животных, обитающих под землёй (кроты), утрата способности к полёту у ряда птиц и, как следствие, исчезновение киля (киви, страусы) и т. п.

Общая дегенерация – это тупиковый путь специализации. Утраченные органы и системы не могут возникнуть вновь, эволюция не имеет обратного пути. Однако в целом общая дегенерация не исключает процветания вида и поэтому тоже является направлением прогрессивной эволюции.

Идиоадаптация *(аллогенез).* *Идиоадаптации* – это конкретные адаптации к определённым специфическим условиям обитания, полезные в борьбе за существование, но не изменяющие общего уровня организации. Идиоадаптации облегчают выживание и повышают конкурентоспособность организмов в данных условиях обитания.

Путём идиоадаптаций в процессе эволюции возникают мелкие систематические группы: виды, роды, семейства.

Появление крыла у птиц является ароморфозом, а форма крыльев и способы полёта – идиоадаптациями; цветок – это крупнейший ароморфоз в эволюции растительного мира, а формы, размеры, окраска цветка – идиоадаптации. Покровительственная окраска животных, плоская форма тела придонных рыб, отличия в строении конечностей у представителей одного отряда млекопитающих – всё это многочисленные примеры идиоадаптаций.

Ароморфозы, идиоадаптации и общая дегенерация могут привести к общему биологическому прогрессу группы организмов.

Проверьте свои знания

1. Сравните основные типы эволюционных изменений.
2. Почему образование новых видов в результате межвидового скрещивания не получило такого распространения в природе, как дивергенция?
3. Каковы основные направления эволюции?
4. Почему явное упрощение строения – дегенерацию – относят к прогрессивным направлениям эволюции?

Задания

1. Сравните гомологичные и аналогичные органы. Приведите примеры таких органов у животных, обитающих в вашем регионе.
2. Выберите крупную систематическую группу (тип или класс) и назовите основные ароморфозы, которые привели к её появлению.
3. Назовите идиоадаптации, которые привели к появлению разнообразия внутри классов позвоночных животных.
4. Подготовьте красочную презентацию (не менее 10 слайдов) на одну из тем: «Дивергенция», «Конвергенция», «Параллелизм». Выступите с ней перед своими одноклассниками.

§ 50 Адаптации организмов к условиям обитания как результат действия естественного отбора

Чтобы выжить, иногда приходится обманывать природу. Главное – делать это красиво.

Автор неизвестен

В предыдущих параграфах мы говорили о способности организмов приспосабливаться к действующим на них факторам окружающей среды. Но на самом деле сущность и механизмы адаптации оказываются гораздо тоньше и глубже, чем просто приспособление к температурному и световому режиму в виде спячки или миграции. В процессе эволюции выработались такие особенности внешнего вида и поведения живых организмов, которые позволяют им занять узкую экологическую нишу и существовать в ней, обеспечивая максимально возможную рождаемость и минимально возможную смертность популяции.

Рис. 154. Многообразие форм птичьих клювов

Морфологические адаптации

Эти адаптации связаны с особенностями строения тела. У Дарвина любимым примером подобных адаптаций служил дятел. В «Происхождении видов путём естественного отбора» Дарвин писал: «Можно ли привести более разительный пример приспособления, чем дятел, лазящий по стволам деревьев и

вылавливающий насекомых в трещинах коры?»

Ярким примером адаптаций к разным типам питания является разнообразная форма птичьих клювов (рис. 154).

Плоская форма тела придонных рыб и торпедообразное тело акул, густой шёрстный покров у северных млекопитающих, гибкое тело у норных животных – это примеры морфологических адаптаций у животных.

Подобные формы адаптаций существуют и в растительном царстве. В высокогорных районах и в тундре большинство растений имеют стелющиеся и подушковидные формы, которые устойчивы к сильным ветрам, зимой легко укрываются снегом и не повреждаются в сильные морозы. У некоторых видов растений строение цветка приспособлено для опыления определёнными видами насекомых: под силой тяжести севшего на него насекомого тычинки наклоняются и роняют пыльцу. Бывает и более сложное строение: в результате соприкосновения с насекомым срабатывает нечто подобное спусковому крючку, в результате чего тычинки захватывают насекомое и осыпают его пыльцой.

Покровительственная окраска

Такая окраска служит прекрасным способом защиты от врагов для многих видов животных. Благодаря ей животные становятся менее заметны.

Самки птиц, гнездящиеся на земле, практически сливаются с общим фоном местности (рис. 155). Так же незаметны яйца и птенцы у этих видов птиц, а, например, яйца аистов не имеют покровительственной окраски, потому что, как правило, недоступны для врагов.

Рис. 155. Покровительственная окраска позволяет птицам сливаться с ландшафтом

Рис. 156. Белая окраска животных Крайнего Севера: А – песец; Б – детёныш тюленя; В – полярный медведь

Покровительственную окраску имеют многие виды насекомых, например, окраска крыльев ночных бабочек полностью сливается с той поверхностью, на которой они проводят дневные часы. Неразличимы в траве зелёные кузнечики, в пустыне – песочно-жёлтые ящерицы, на снегу – полярные песцы.

Следует отметить, что в районах Крайнего Севера среди животных очень распространена белая окраска, делающая их незаметными на снежной поверхности (полярные медведи, совы, белая куропатка и многие другие) (рис. 156).

Рис. 157. Покровительственная окраска гепарда

У некоторых животных существует характерная яркая окраска, образованная чередованием светлых и тёмных полос или пятен (тигры, леопарды, пятнистые олени, детёныши кабана). Такая окраска имитирует чередования света и тени в окружающей природе и делает животных менее заметными в густых зарослях (рис. 157).

В зависимости от условий освещённости способны менять свою окраску хамелеоны, осьминоги и другие животные.

Рис. 158. Палочник

Маскировка

Хорошим средством защиты от врагов служит не только скрывающая окраска, но и маскировка – соответствие формы тела объектам неживой природы. Сходство с предметами окружающей среды позволяет многим животным избегать нападения хищников. Практически неразличима в зарослях морских водорослей рыба-игла. В классе насекомых существует большой (почти 3 тыс. видов) отряд Привиденьевые, или Палочники. Эти насекомые поразительно похожи на палочки, ветки или листья, так что часто их практически невозможно заметить (рис. 158). Многие бабочки и их гусеницы не отличаются по цвету от коры деревьев, на которых они живут, так что когда они неподвижны, то становятся почти неотличимыми от этой коры. Некоторые насекомые, находясь на деревьях, становятся поразительно похожими на лишайники. Даже такое крупное животное, как живущая в камыше выпь, которая является одним из видов цапли, имеет такую форму и окраску, что, когда она стоит, вытянувшись среди камышей, может оставаться почти незаметной для хищников.

Предостерегающая окраска

Рис. 159. Скунс

Рис. 160. Мухи-журчалки подражают окраской ядовитым перепончатокрылым насекомым

У ряда животных вместо покровительственной окраски развивается предостерегающая, или угрожающая. Как правило, такая окраска свойственна жалящим или имеющим ядовитые железы насекомым. Птица, отведавшая ядовитую божью коровку или ярко-полосатого шмеля, вряд ли будет пытаться сделать это снова.

Скунс имеет яркую белую полосу на фоне чёрной шерсти (рис. 159), а жерлянка – животное, похожее на лягушку, – в случае опасности поворачивается на спину и показывает врагу своё брюхо, покрытое яркими жёлтыми или красными пятнами, демонстрируя свою несъедобность.

Мимикрия

Многие безобидные животные в процессе эволюции приобрели сходство с ядовитыми видами. Это явление подражания беззащитного вида хорошо защищённым и имеющим предостерегающую окраску неродственным видам называется *мимикрией* (от греч. «мимикос» – подражательный). Непривлекательны для насекомоядных птиц пчёлы и их подражатели – мухи-журчалки (рис. 160). В Америке обитает неядовитая молочная змея, похожая по внешнему виду и окраске на очень ядовитого кораллового аспида.

Биохимические адаптации

Многие животные и растения способны образовывать различные вещества, которые служат им для защиты от врагов и для нападения на другие организмы. Пахучие вещества клопов, яды змей, пауков, скорпионов, токсины растений относятся к такого рода приспособлениям. Некоторые растения, опыляемые мухами, издают запах гниющего мяса, который этих мух привлекает.

Поведенческие адаптации

Особый тип поведения в тех или иных условиях имеет очень большое значение для выживания в борьбе за существование. В ходе эволюции животные часто вырабатывают такие виды приспособительного поведения, что их вполне можно принять за разумные, а не инстинктивные, как это есть на самом деле.

Среди животных встречаются представители почти всех человеческих профессий – каменщики, плотники, портные, инженеры путей сообщения, производители консервов и многие другие. Стенные пчёлы изготавливают из глинисто-известковой земли и собственной слюны почти полное подобие римского цемента и строят из него на камнях такие прочные жилища, что их можно разрушить только с помощью металлического инструмента. Среди птиц лучшими каменщиками являются ласточки. Деревенская ласточка строит своё гнездо в жилых местах или по соседству с ними (рис. 161). Гнездо сделано из жирной земли, которую птица собирает клювом и перемешивает со слюной, которая придаёт земле твёрдость, и с шерстью и стебельками травы. Такое гнездо весит более 500 г, а так как клюв у ласточки очень мал, ей приходится совершать до 500 путешествий для постройки одного домика.

Рис. 161. Гнездо ласточки

Плотницкие работы хорошо выполняют жуки-короеды, которые пробуравливают в деревьях галереи (рис. 162). Самка делает галерею шириной с её тело и располагает в ней яички по одному в выемках направо и налево.

Рис. 162. Ходы жуков-короедов в дереве

Из каждого яйца выходит личинка, которая буравит галерею почти перпендикулярно материнской. Каждая личинка сверлит прямо перед собой, так что галереи не пересекаются. По мере того как личинка вырастает, галерея расширяется. В самом широком месте личинка превращается в куколку. Через некоторое время вышедшее из куколки взрослое насекомое прокусывает в коре круглую дырку и выходит наружу.

Моллюск, называемый корабельным червём, умеет не только проделывать ходы в древесине, но одновременно и «штукатурит» их, выделяя известковое вещество.

Искусные портные встречаются среди птиц и насекомых. Птичка, называемая травяной камышевкой, живущая на юге Европы, умеет обшивать своё гнездо листьями. По краям каждого листа она проделывает дырки, в которые продёргивает нитки, сделанные из паутины или растительного пуха. Многие гусеницы умеют шить себе одежду. Особенного таланта в этом ремесле достигли личинки платяной моли, с которой человек ведёт упорную борьбу, так как свою одежду она готовит из нашей. Сразу после выхода из яйца личинка одета только в «бельё» из вырабатываемого ею самой шёлка. Но она тут же начинает шить себе платье, подбирая для этого подходящие нитки. По мере того как личинка растёт, она удлиняет и расширяет это платье, делая для этого различные вставки. Если поблизости нет подходящего материала, личинка занимается его поиском, причём передвигается при этом довольно быстро, таща за собой свой чехол. Найдя нужную нитку, моль откусывает от неё кусок своими острыми челюстями и вставляет в требуемое место своей одежды. Таким образом, чехол личинки моли сшит из материи, лицевая сторона которой шерстяная, а изнанка шёлковая. Если личинку выгнать из её чехла, она не вернётся обратно, а будет шить себе новую одежду, причём будет шить «на вырост», чтобы продолжать расти.

Почти все муравьи роют подземные каналы и строят крытые дороги, по которым они в безопасности переходят с одного конца муравейника на другой или отправляются за пищей в какое-либо отдалённое место. Кроме того, некоторые виды муравьёв сооружают загоны, где содержат тлей, которые служат им в качестве домашнего скота, поскольку выделяют сладкое вещество, которым муравьи питаются.

Некоторые перепончатокрылые насекомые (наездники или осы) изготавливают консервы, для того чтобы выкормить своих личинок. Консервами служат жуки, сверчки, гусеницы, кузнечики и другие насекомые, а иногда и пауки. Наездник поражает свою

жертву в нервные узлы, полностью лишая её возможности двигаться, а затем откладывает в её тело яйцо. Вылупившаяся личинка может в течение долгого времени питаться своим «домом», который остаётся живым и не теряет своей свежести. Самое интересное, что личинка знает, какие именно части тела жертвы надо есть, чтобы оставить её в живых и избежать преждевременной порчи продукта. Некоторые наездники таким образом приносят пользу сельскому хозяйству, уничтожая вредных гусениц.

Особую важность имеют поведенческие адаптации, связанные с продолжением рода. Брачное поведение, выбор партнёра, образование семьи, забота о потомстве – эти типы поведения являются врождёнными и видоспецифичными, т. е. у каждого вида существует своя программа полового и детско-родительского поведения.

Существует ещё много примеров поразительно сложного приспособительного поведения, проявляющегося даже у животных, обладающих самой примитивной нервной системой. Объяснить все эти сложнейшие процессы с помощью случайных мутаций и естественного отбора часто бывает затруднительно. Поэтому всегда существовали эволюционные теории, если не противоречащие дарвинизму, то хотя бы дополняющие его.

Проверьте свои знания

1. Приведите примеры приспособленности организмов к условиям существования.
2. Почему одни животные имеют яркую, демаскирующую окраску, а другие, наоборот, – покровительственную?
3. В чём заключается сущность мимикрии?
4. Распространяется ли действие естественного отбора на поведение животных? Приведите примеры.

Задания

1. Приведите известные вам примеры мимикрии и маскировки. Сравните эти два типа приспособлений. В чём их сходство и различия?
2. Есть паразит, который обитает в теле муравьёв. Промежуточным его хозяином является овца. Подумайте и обсудите, каким образом паразит обеспечивает попадание «своего» муравья-хозяина в пищеварительную систему овцы,

учитывая, что овца сама съедает муравья, хотя обычно муравьями не питается.

3. Любые адаптации обладают относительной целесообразностью. При изменении условий адаптации могут потерять свою приспособительную ценность и даже принести вред их обладателю. Согласны ли вы с этим утверждением? Приведите аргументы в его пользу.

4. Назовите птиц, изображённых на рисунке 154. Как строение их клюва связано с образом их жизни и типом питания?

§ 51 Другие эволюционные идеи

Тот, кто признаёт закон полового подбора, будет приведён к любопытному заключению, что мозговая система не только управляет большинством существующих отправлений тела, но имела косвенное влияние и на прогрессивное развитие различных органов в теле и некоторых умственных качеств. Смелость, воинственность, настойчивость, сила и рост, орудия всякого рода, музыкальные органы, как голосовые, так и инструментальные, яркие цвета, полосы и пятна, украшающие придатки, – всё это было приобретено одним или другим из полов под влиянием любви и ревности, вследствие умения ценить прекрасное в звуках, цветах или форме и вследствие свободы выбора; а все эти способности ума, очевидно, зависят от развития системы головного мозга.

Чарлз Дарвин. Происхождение человека и половой подбор

В современном обыденном сознании понятия «дарвинизм» и «эволюция» кажутся неразделимыми, чуть ли не синонимами. Если спросить у неосведомлённого человека, что же сделал Дарвин, ответов, скорее всего, будет два: «Он впервые создал теорию эволюции» и «Он сказал, что человек произошёл от обезьяны». Оба ответа неверны. Дарвин создал не первую и не единственную теорию эволюции, да и к тому же был не вполне уверен в её абсолютной справедливости. Что же касается происхождения человека, то об этом Дарвин писал не в «Происхождении видов», а совсем в другой книге, которая называется «Происхождение человека и половой подбор» и где понятие отбора используется совсем в другом смысле.

Мы уже познакомились с основными положениями синтетической теории эволюции, которая также называется неодарвинизмом и претендует на развитие основных идей Дарвина. Сам Дарвин, однако, не был ортодоксальным дарвинистом. Обобщив огромный фактический материал, он предложил теорию естественного отбора в качестве гипотезы, прекрасно понимая её многочисленные недостатки. В отличие от своих последователей, Дарвин не противопоставлял себя Ламарку и допускал наследование приобретённых признаков. Наоборот, он фактически вернул к жизни уже почти забытые к тому времени идеи Ламарка и многократно опирался на них в своих трудах, особенно в последний период своей научной деятельности. В предисловии ко второму изданию «Происхождения человека» он пишет: *«Критика нередко обвиняла меня в том, будто я приписываю все изменения в строении тела и умственных способностях исключительно влиянию естественного отбора на так называемые спонтанные изменения; а между тем я уже в первом издании «Происхождения видов» ясно указывал, какое большое значение следует придавать унаследованным последствиям употребления и неупотребления органов в отношении телесной и умственной организации. Сверх того, известную долю изменений я приписываю прямому и продолжительному действию изменённых условий жизни, так же как и случайным возвратам к прежнему строению».*

Таким образом, Дарвин не считал естественный отбор единственным механизмом эволюции, да и вообще, будучи чрезвычайно скромным человеком, вовсе не претендовал на роль мессии, создателя новой биологии и чуть ли не новой философии. Это сделали за него последователи, восторженно поддержанные широкой научной, а главное, околонаучной общественностью, в подавляющем большинстве ничего не понимающей ни в эволюции, ни вообще в биологии. Эти последователи увидели в «Происхождении видов» столь близкий им вызов «реакционерам и церковникам». Достаточно сказать, что «Происхождение видов» немедленно после выхода в свет стало бестселлером: первое издание, вышедшее тиражом 1250 экземпляров, разошлось в один день. Всего же при жизни Дарвина было опубликовано шесть английских, три американских, пять немецких, три русских, три французских и по одному итальянскому, голландскому и шведскому изданию. Книга шла нарасхват и читалась широкой публикой – лучшее доказательство того, что она была воспринята скорее как идеологическая программа, чем как научная работа. Тех, кто пытался указывать на слабые места теории и отсутствие в ней серьёзных

доказательств, просто обвиняли в реакционности и потворстве церковникам, за что они могли быть подвергнуты бойкоту и остракизму. (К самому Дарвину это не относится – он как раз был очень внимателен к критике.) А возражения, надо сказать, были достаточно серьёзные.

Работа Н. Я. Данилевского

Одним из первых выступил с критикой теории естественного отбора и его роли в эволюции русский зоолог Николай Яковлевич Данилевский (1822–1895). Труд Данилевского, написанный почти на 1500 страницах, содержит тысячи цитат из Дарвина, подробное прослеживание его мысли от издания к изданию, анализ критикуемых примеров и аргументов в сочетании с описанием огромного количества фактов, собранных самим Данилевским. В итоге Данилевский приводит 15 главных ошибочных выводов Дарвина. Среди них указание на неправомерность отождествления механизма естественного отбора с искусственным, так как селекционер отбирает организмы с признаками, выгодными не самому организму, а именно селекционеру, в их числе могут оказаться и уродства (карликовость, кривые ноги таксы, наследственное заболевание мозга у голубя-турмана и др.). К тому же в результате искусственного отбора, длящегося уже несколько тысячелетий, не возникло ни одного нового вида. Данилевский также возвращается к возражению Кювье, утверждая, что «жизнеспособность организма при смене окружающих условий зависит от одновременного изменения большого комплекса признаков, и всякое единичное изменение будет вредно, так как нарушит соответствующую корреляцию». Кроме того, Данилевский говорит о бесполезности, а, возможно, чаще – о вредности в момент зарождения будущих полезных признаков. Было бы нелепым ожидать от слепого подбора сохранения таких изменений в предвидении их будущей пользы, если её нельзя извлечь в данный момент. Конструируя гипотетические примеры нарастания преимущества признака от поколения к поколению, Дарвин за неимением реальных переходов опирается на пользу новых признаков, беря их уже в готовой форме, как они представлены у сформировавшихся видов. И наконец, Данилевский делает важное замечание, которое согласуется с математической теорией вероятностей и, кстати, применимо к теории происхождения жизни путём химической эволюции. Сколь ни длительна история Земли, а времени для образования

органического мира с помощью естественного отбора не могло хватить. Разница между реально истекшим временем и потребностью в нём по теории Дарвина слишком велика.

Перечисленные возражения представляют лишь немногую часть критики теории Дарвина со стороны Данилевского и других биологов, однако современники, зачарованные простотой и материалистичностью дарвинизма, не обратили на них в то время никакого внимания.

Теория номогенеза

Критика СТЭ и появление новых, не согласующихся с ней теорий, возродились в прошлом веке. Одной из таких теорий стала теория *номогенеза* (от греч. «номос» – закон, «генез» – происхождение), предложенная в 1922 г. российским биологом и географом академиком Львом Семёновичем Бергом (1876–1950). Под номогенезом понимают целенаправленный характер эволюции, программа которого была заложена уже в первых молекулах, составлявших живые клетки. Если биогенетический закон утверждает, что онтогенез есть краткое повторение филогенеза, то, по мнению Берга, филогенез – это чрезвычайно растянутый во времени онтогенез. Точно так же, как из зиготы в соответствии с определёнными закономерностями развивается взрослый организм, из первых обитателей Земли развилась современная флора и фауна. При этом Берг полагает, что переход от одного таксона к другому совершается не как у Ламарка и Дарвина путём мелких последовательных изменений, а скачками, приводящими к внезапному возникновению новых устойчивых форм. Такие теории носят название *сальтационистских* (от лат. «сальтус» – скачок) в противоположность *градуалистским* теориям, подобным ламаркизму и дарвинизму.

В пользу сальтационизма говорят уже упомянутые аргументы Кювье, Данилевского и других исследователей, утверждавших, что организм может быть жизнеспособен только в том случае, если все его органы объединены в согласованно работающую систему. В рамках этого подхода в настоящее время рассматривается возможность макромутаций, т. е. глобальных внезапных перестроек генной и хромосомной системы организма, приводящих к возникновению принципиально новой организации.

Большие успехи, достигнутые в исследовании вирусов и механизмов переноса ими чужеродной ДНК, позволили выдвинуть гипотезу, что эволюция видов могла происходить не в

изоляции от других, а путём обмена наследственными факторами при попадании вируса из организма одного вида в организм другого.

Главная проблема теории эволюции заключается в том, что представители нового вида не могут возникать поодиночке. Иначе где они найдут себе партнёра для продолжения рода? Следовательно, для возникновения нового вида должны произойти крупные генетические изменения у многих особей в одно и то же время и на одной и той же территории. Каким образом это могло случиться? Убедительного ответа на этот вопрос пока ещё нет.

Проверьте свои знания

1. Как Дарвин относился к взглядам Ламарка о наследовании приобретённых признаков?
2. В чём заключались возражения Данилевского Дарвину? Как вы считаете, насколько обоснованны эти возражения?
3. Что такое градуалистские и сальтационистские эволюционные теории?
4. В чём заключается теория номогенеза?

Задания

1. Используя дополнительную литературу и ресурсы Интернета, подготовьте сообщение или презентацию о современных эволюционных идеях.
2. Объясните, в чём некорректность фразы «Человек произошёл от обезьяны». Как её надо переформулировать, чтобы она соответствовала эволюционной теории?

§ 52 Геохронологическая шкала. Развитие жизни в протерозое и палеозое

В дымном полусумраке пещеры,
Где со стенок капала вода,
Анекдот времён архейской эры
Я тебе рассказывал тогда.

Александр Мень

Как уже говорилось, Солнечная система по современным представлениям образовалась около 5 млрд лет назад. Исходя из результатов тех же исследований, полагают, что возраст Земли ненамного меньше – по современным данным, наша планета образовалась около 4,5–4,6 млрд лет назад. Вся история нашей планеты разделена на временные промежутки продолжительностью в сотни тысяч и миллионы лет. Такую шкалу истории Земли называют *геохронологической шкалой.* Самые крупные промежутки времени – ***эоны,*** эоны делят на ***эры,*** а эры – на ***периоды.*** Последовательность эонов, эр и периодов показана в таблице 2.

Таблица 2
Геохронологическая шкала

Эон	Эра	Период	Время от начала до наших дней, млн лет
Криптозой	Архей		3500
	Протерозой	Ранний	2500
		Поздний (рифей, венд)	1700
Фанерозой	Палеозой	Кембрийский	600
		Ордовикский	500
		Силурийский	430
		Девонский	400
		Каменноугольный	340
		Пермский	290
	Мезозой	Триасовый	230
		Юрский	190
		Меловой	130
	Кайнозой	Палеогеновый	60
		Неогеновый	25
		Антропогеновый (Четвертичный)	1,5

Архейская и протерозойская эры. По мнению большинства исследователей, жизнь появилась на Земле около 3,5 млрд лет назад, когда планета достаточно остыла, земная кора затвердела, а водяные пары сконденсировались и образовали моря и океаны. Первый эон – криптозой (от греч. «крипто» – скрытый и «зоэ» – жизнь) делят на две эры – архейскую (архей) и протерозойскую (протерозой). Название «скрытая жизнь» дано этому эону потому, что обитавшие тогда одноклеточные организмы не имели твёрдых оболочек, поэтому их остатки обнаружить практически невозможно. Главным доказательством того, что в криптозое существовала жизнь, служит наличие в осадочных породах того периода химических соединений, которые не могли бы образоваться без участия ферментов живых организмов (вспомните окислительно-восстановительную функцию живого вещества в биосфере).

К концу архея появились первые колониальные водоросли.

Благодаря фотосинтезу, осуществляемому цианобактериями, в атмосфере появился свободный кислород. Через некоторое время его содержание достигло 1 % от современного. Такое количество кислорода, называемое точкой Пастера, способно обеспечить существование аэробных организмов, которые с этого времени стали активно распространяться по Земле. Накопление кислорода привело к созданию в верхних слоях атмосферы озонового экрана, который преградил путь на Землю губительному ультрафиолетовому излучению и тем самым

способствовал расцвету жизни на Земле.

Рис. 163. Жизнь в морях кембрийского периода

Огромный по продолжительности *палеозой* отличался расцветом бактерий и водорослей, продолжавших образовывать скопления биогенных веществ. Именно тогда появились крупнейшие железорудные отложения, в том числе Курская и Криворожская магнитные аномалии. Около 1,35 млрд лет назад господство прокариот сменяется расцветом эукариот, которые вскоре начинают образовывать многоклеточные организмы. Вначале это были водоросли, но 600–700 млн лет назад, в эпоху, называемую вендом, появляются и многоклеточные животные: кишечнополостные, плоские и круглые черви. Все эти животные не имели ни раковин, ни скелета, поэтому от них осталось крайне мало остатков, по которым можно оценить их разнообразие. Именно поэтому протерозой и относят к криптозойскому эону, т. е. периоду «скрытой жизни». Эту эпоху иногда ещё называют докембрием, так как ей на смену пришёл кембрий – первый период палеозойской эры фанерозоя.

Палеозойская эра

Почти вся жизнь в *кембрии* была сосредоточена в морях. На суше селились только прокариоты. В море же господствовали многочисленные водоросли и обитали животные почти всех известных типов, кроме хордовых (рис. 163). В начале кембрия в океан с суши попадает большое количество солей кальция и магния, вода минерализуется, и животные получают возможность строить внутренний или внешний скелет для защиты от хищников. В кембрийских морях особенно широко были распространены трилобиты – членистоногие, внешним видом напоминающие современных мокриц и достигавшие полуметра в длину.

Характерной чертой *ордовика* является появление предков хордовых, напоминающих современного ланцетника, и первых наземных споровых растений – псилофитов, которые стали заселять берега пресных водоёмов (рис. 164).

Следующий период – *силур* знаменателен двумя событиями: появлением позвоночных и выходом на сушу первых животных. Первыми позвоночными были панцирные «рыбы», внешне напоминающие настоящих рыб, но на самом деле принадлежавшие к классу круглоротых, куда относятся современные миноги и миксины. У них был хрящевой скелет, а вместо челюстей круглая присоска. В это же время на суше распространились псилофиты, сохранившие в своём строении многие признаки водорослей, но больше напоминающие современные мхи. Вслед за псилофитами сушу стали заселять и животные, первыми из которых были паукообразные, близкие по строению к современным скорпионам.

Начавшееся в силуре постепенное иссушение климата и увеличение площади суши продолжалось и в *девоне*.

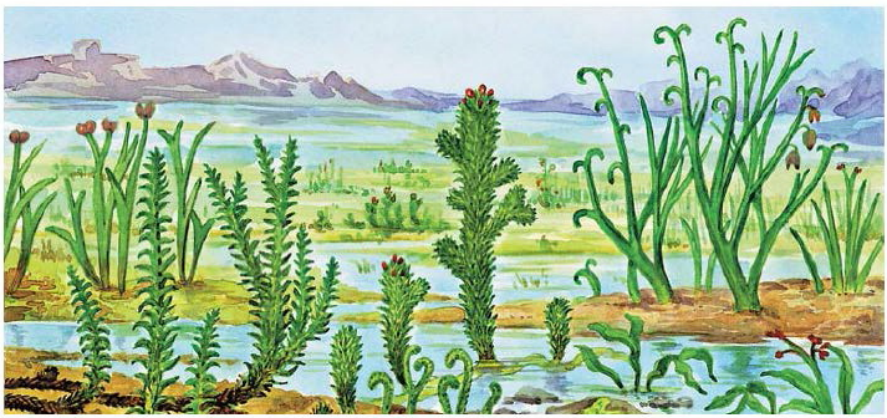


Рис. 164. Первые растения суши

Рис. 165. Латимерия – современная кистепёрая рыба

Моря были заполнены настоящими рыбами, среди которых были и кистепёрые (рис. 165). К концу силура потомки кистепёрых окончательно освоили передвижение на усовершенствованных парных плавниках, сменили плавательный пузырь на лёгкое, переселились на сушу и дали начало земноводным.

Рис. 166. Леса каменноугольного периода

В конце палеозоя, т. е. в *каменноугольном* и *пермском* периодах, процесс заселения живыми организмами суши практически завершился. От псилофитов произошли типичные споровые растения – плауны, хвощи и папоротники. Эти растения, которые в наше время в основном имеют вид трав, достигали тогда 40 м в высоту и 2 м в диаметре (рис. 166). После гибели эти деревья падали в воду и там без доступа кислорода превращались в каменный уголь. Именно в этот период образовались основные запасы угля, за что период и получил своё название. Среди животных на суше господствовали земноводные, а также членистоногие, среди которых было много насекомых. Однако в конце пермского периода климат стал ещё суше, площадь водоёмов уменьшилась, что сделало существование споровых растений и земноводных затруднительным, так как и тем и другим для размножения необходима вода. Поэтому к концу палеозоя споровые растения довольно быстро сменились голосеменными, а земноводных стали вытеснять пресмыкающиеся. Потребность в воде у тех и других была значительно ниже, чем у их предков.

Проверьте свои знания

1. На какие эоны делят историю Земли? Почему их так называют?
2. По каким признакам можно утверждать, что в архее была жизнь?
3. В каком периоде появились первые позвоночные?
4. Когда и какие живые организмы впервые вышли на сушу?
5. Почему в конце палеозоя произошла резкая смена флоры и фауны?

Задания

Выясните, существуют ли в вашем регионе месторождения каменного угля. В какую эпоху они могли образоваться? Что явилось причиной их образования? Каково значение этих месторождений для развития промышленности вашего региона и страны в целом? Обсудите найденный вами материал с одноклассниками, создайте общий информационный листок и разместите его на стенде школы.

§ 53 Развитие жизни в мезозое и кайнозое

Давным-давно жили-были динозавры. Жили они долго и счастливо и умерли в один день.

Автор неизвестен

Мезозойская эра. Биологический прогресс и регресс

Для мезозоя был характерен тёплый и сухой климат, сильно сократилась площадь водоёмов, появились пустынные ландшафты. Это было весьма благоприятно для пресмыкающихся, которые проявили в этом периоде все признаки биологического прогресса. Поскольку эту тему мы не обсуждали в предыдущих разделах, поговорим о ней подробнее. А. Н. Северцов выделил среди направлений эволюции процесс *биологического прогресса.* Биологический прогресс таксона (вида, отряда, класса и пр.) характеризуется:

• увеличением численности особей, входящих к этому таксону;

• расширением территории его распространения (ареала);

• увеличением числа подчинённых, более мелких, таксонов: для вида – подвидов, для отрядов – семейств, для класса – отрядов и т. д.

Все эти признаки были свойственны пресмыкающимся в течение всей мезозойской эры.

Как нам известно, для прогрессивного развития необходимы ароморфозы. Пресмыкающиеся появились примерно через 50 млн лет после земноводных и приспособились к существованию на суше. Несколько крупных ароморфозов обеспечили им преимущество в сухом климате: откладывание яиц, в которых зародыш был защищён от высыхания; внутреннее оплодотворение; роговой покров тела, уменьшающий испарение влаги; более развитая мускулатура и более совершенные системы дыхания и кровообращения; развитие головного мозга, в том числе полушарий. Дальнейшие идиоадаптации позволили им занять практически все возможные экологические ниши в наземной, водной и воздушной среде. В результате господство пресмыкающихся на Земле продолжалось почти 200 млн лет.

В соответствии с принципом биологического прогресса пресмыкающиеся в мезозое разделились на несколько отрядов.

Появились крокодилы, черепахи, однако главными хозяевами суши были динозавры (рис. 167). Их господство началось ещё в *триасе* и продолжалось весь *юрский* и большую часть *мелового периода*. Большинство динозавров питались растениями, но среди них встречались и хищники. Если триасские динозавры не отличались особенно большими размерами (самые крупные достигали в длину 5–6 м, а мелкие были размером с курицу), то в юрском периоде появились настоящие гиганты, среди которых самыми крупными были брахиозавры, которые достигали более 30 м в длину и весили до 50 т. Некоторые пресмыкающиеся вновь вернулись к жизни в воде. Другие освоили воздушную среду. К настоящему времени известно более 250 видов динозавров, при этом постоянно открывают новые, ранее неизвестные виды.

Параллельно с пресмыкающимися в мезозое господствовали голосеменные растения, осваивали воздушную среду насекомые. В триасе появились мелкие примитивные млекопитающие с постоянной температурой тела – ароморфозом, который в будущем сыграл большую роль. Птицы появились в юрском периоде. Считают, что они произошли от пресмыкающихся, приспособившихся к полёту. Птицы до сих пор сохраняют многие признаки пресмыкающихся. Однако, в отличие от них, птицы наряду с млекопитающими имеют постоянную температуру тела. Юрское животное – археоптерикс – уже очень напоминало птицу. Оно было покрыто перьями, имело крылья и длинный, тоже оперённый хвост. Но на крыльях, как и на лапах пресмыкающихся, были пальцы с когтями, в хвосте сохранились позвонки, а во рту – зубы.

В меловом периоде происходят катастрофические изменения в составе флоры и фауны Земли. Их причины ещё окончательно не установлены. Возможно, они начались с вытеснения голосеменных растений цветковыми (покрытосеменными).

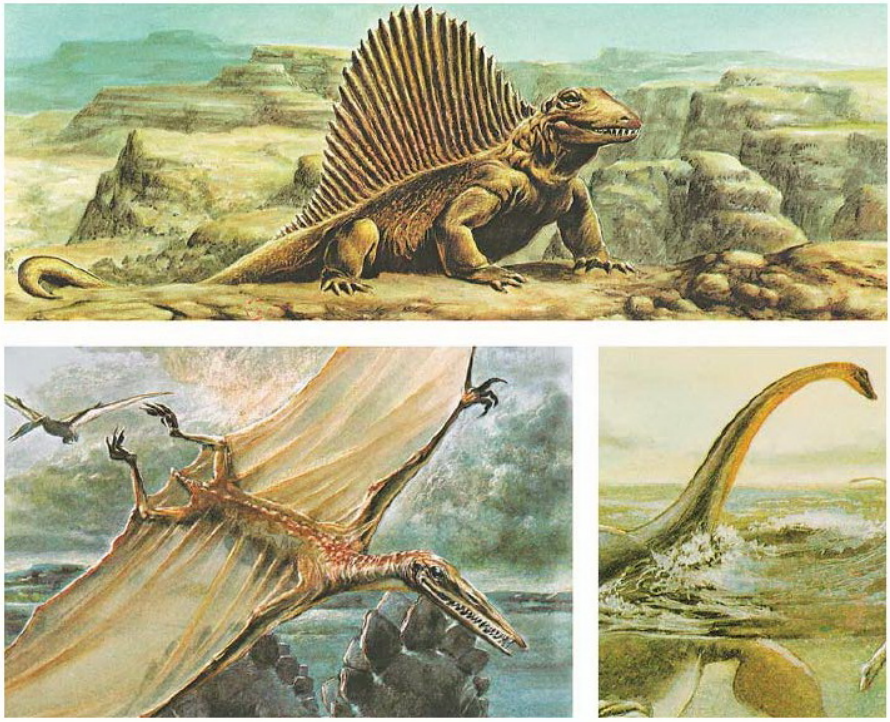


Рис. 167. Животный мир мезозойской эры

Целый ряд ароморфозов (цветок, двойное оплодотворение, запас питательных веществ в семени, защита семян с помощью плодов) дал покрытосеменным явное преимущество перед их предками – голосеменными. Кроме того, сыграли роль и сезонные изменения климата, установившиеся в конце юрского периода. Доказательством этому является то, что подавляющее большинство цветковых растений являются листопадными. Появление новых видов растительной пищи способствовало размножению и распространению млекопитающих, птиц и насекомых.

Для пресмыкающихся же в этот период начался процесс ***биологического регресса*** – явления, прямо противоположного биологическому прогрессу: снижение общей численности, сужение ареала и уменьшение числа подчинённых таксонов. Исчезают многие отряды пресмыкающихся, в том числе и господствующий отряд динозавров. Из огромного числа мезозойских пресмыкающихся к нашему времени сохранилось всего 6000 видов. Заканчивается мезозойская эра, и наступает кайнозойская – время расцвета цветковых растений, насекомых, птиц и млекопитающих.

Уже в палеогене млекопитающие полностью вытеснили пресмыкающихся, заняв все их экологические ниши на суше, а в воздухе это сделали птицы. В этот период происходит активный биологический прогресс млекопитающих. Напомним, что примитивные яйцекладущие млекопитающие появились ещё в триасе. В конце мелового периода Землю стали заселять уже сумчатые и плацентарные представители этого класса, а в *палеогене,* в соответствии с определением биологического прогресса, возникло большинство современных отрядов млекопитающих, в том числе и первые примитивные приматы, а впоследствии и настоящие обезьяны.

В *неогене* климат стал более сухим и холодным, что привело к уменьшению площадей, занятых тропическими лесами, и появлению обширных степных пространств, которые быстро заселили злаки. В результате появилось множество степных животных – от мелких грызунов, чью безопасность обеспечивали вырытые ими глубокие норы, до крупных парно– и непарнокопытных, обитавших на огромных степных пространствах и объединявшихся в огромные стада.

Современный, *антропогеновый,* период продолжается около 1,5 млн лет.

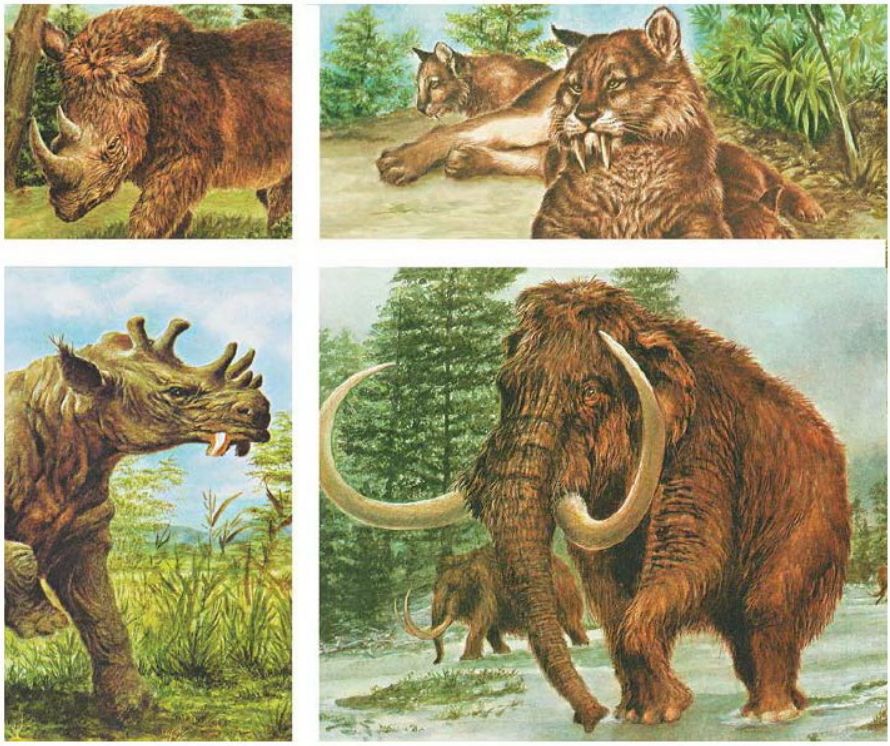


Рис. 168. Животный мир кайнозойской эры

В течение антропогенового периода произошло четыре гигантских оледенения. Огромные ледяные щиты то наступали на юг, доходя до широты современных Киева, Харькова и Воронежа, то отступали обратно на север. В условиях такого климата получили преимущество животные с длинной и густой шерстью, такие как мамонты, шерстистые носороги, овцебыки (рис. 168). Благодаря тому что значительная часть воды, превратившись в лёд, скопилась на суше, моря обмелели, и между материками и островами образовались участки суши, которыми животные, а затем и люди воспользовались для расселения по поверхности планеты. Последнее большое оледенение произошло около 20 тыс. лет назад, оставив после себя ледники Северного Ледовитого океана, Исландии, Северной Земли и других территорий.

В течение антропогена вымерли мастодонты, мамонты, саблезубые тигры, гигантские ленивцы и другие крупные млекопитающие. Считается, что большую роль в этом вымирании сыграли появившиеся к тому времени люди, активно занимавшиеся охотой.

Проверьте свои знания

1. Объясните причины резкой смены флоры и фауны в пермском периоде.
2. Чем характеризуется биологический прогресс и биологический регресс? Какие, на ваш взгляд, современные животные и растения находятся в состоянии биологического прогресса, а какие – на стадии биологического регресса?
3. Какого размера могли достигать динозавры?
4. В каком периоде появились основные отряды млекопитающих? Какие отряды плацентарных млекопитающих возникли одними из первых? Можете ли вы это доказать, опираясь на особенности строения современных представителей этих отрядов?
5. Какие растения и животные господствуют в кайнозойскую эру?

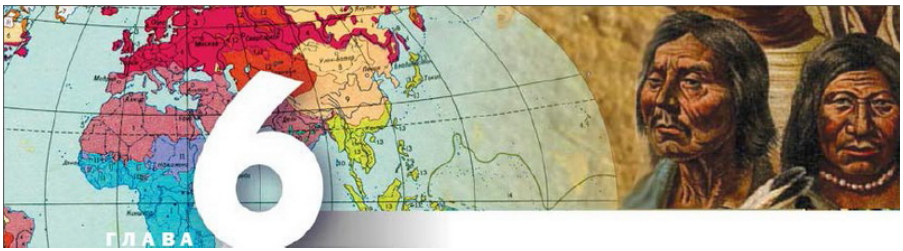
Задания

Дополните таблицу из § 52 материалами «Климатические и геологические особенности периода» и «Животный и растительный мир».

Ваша будущая профессия

1. Люди каких профессий вносят свой вклад в развитие синтетической теории эволюции? Выберите одну из этих профессий и подготовьте о ней небольшое (не более 7—10 предложений) сообщение.
2. Что изучает наука палеоботаника? Как работа специалистов в этой области связана с темой данной главы?

Человек в системе естествознания



§ 54 Человек как живой организм

Закат из золотого стал как медь,
Покрылись облака зелёной ржою,
И телу я сказал тогда: – Ответь
На всё провозглашённое душою. —

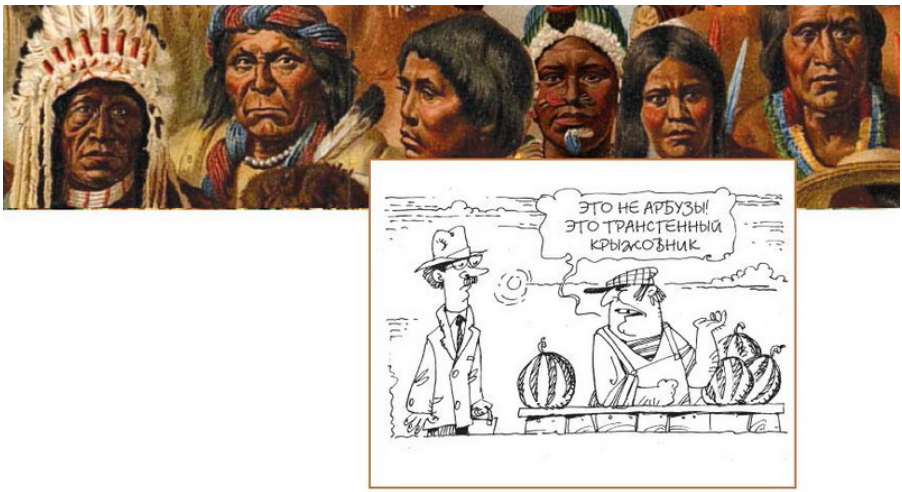
И тело мне ответило моё,
Простое тело, но с горячей кровью:
– Не знаю я, что значит бытиё,
Хотя и знаю, что зовут любовью.

– Люблю в солёной плескаться волне,
Прислушиваться к крикам ястребиным,
Люблю на необъезженном коне
Нестись по лугу, пахнущему тмином.

Н. Гумилёв. Душа и тело

Глядя в глубь тысячелетий настолько, насколько мы можем проследить историю человеческой мысли, мы видим, что вопросы, что такое человек, каково его место в мире, постоянно занимали умы философов и писателей, религиозных и научных мыслителей. С одной стороны, человек по своему строению, основным физиологическим и биохимическим функциям и биологическим потребностям практически ничем не отличается от других животных. С другой стороны, по своим психическим способностям и характеру деятельности он образует такой разрыв даже со своими ближайшими биологическими родственниками, подобного которому нет нигде в живой природе. Этот парадокс – единство и пропасть одновременно – до сих пор остаётся

неразрешённым. Однако знаний на эту тему накопилось достаточно для того, чтобы попытаться в этом разобраться.



Итак, человек – действительно обыкновенный живой организм. Как мы знаем, любой организм занимает определённое место в биологической систематике. Человек не является исключением (табл. 3).

Сходство человека с другими представителями животного мира. Чем ниже таксон, в который входит человек, тем больше сходства между человеком и другими представителями этого таксона. Со всеми живыми организмами человека объединяют генетический код, наличие ферментов и способы получения энергии при распаде органических веществ.

Таблица 3
Положение человека в системе живых организмов

Таксон	Название
Надцарство	Эукариоты
Царство	Животные
Подцарство	Многоклеточные
Тип	Хордовые
Подтип	Позвоночные, или Черепные
Класс	Млекопитающие
Подкласс	Плацентарные, или Высшие звери
Отряд	Приматы
Подотряд	Обезьяны, или Высшие приматы
Надсемейство	Узконосые обезьяны
Семейство	Гоминиды (Hominidae)
Род	Человек (Homo)
Вид	Человек разумный (Homo sapiens)
Подвид	Человек разумный разумный (Homo sapiens sapiens)

Рис. 169. Строение черепа и позвоночника человека (А) в сравнении со скелетом и позвоночником гориллы (Б)

С эукариотами – сходное строение клетки, включающей ядро с хроматином, митохондрии и другие органоиды, и пр. Человек, как и все животные, имеет гетеротрофный способ питания, его клетки лишены плотной оболочки, а при развитии он проходит

стадии бластулы и гаструлы, что типично для всех многоклеточных животных. Ещё большее сходство обнаруживается при сравнении человека с другими позвоночными. Их объединяют общий план строения скелета (череп и позвоночник) (рис. 169), замкнутая кровеносная система, имеющая сердце, центральная нервная система, состоящая из головного и спинного мозга, сходное строение пищеварительной и выделительной систем и многие другие признаки. Как и все млекопитающие, человек имеет крупный головной мозг с большими полушариями, покрытыми корой, постоянную температуру тела, шёрстный покров, дифференцированные зубы, расположенные в углублениях челюстей, четырёхкамерное сердце, особое строение лёгких и диафрагму, разделяющую брюшную и грудную полости. Ему свойственно живорождение и выкармливание детёнышей молоком. Наличие плаценты роднит человека с высшими млекопитающими.

Сходство и различия человека и других приматов

Но наибольшее сходство выявляется при сравнении человека с животными, принадлежащими к отряду приматов, особенно с обезьянами. Для всех приматов характерны: увеличенный мозг с двумя уникальными бороздами (боковой и центральной); большие, обращённые вперёд глаза; четыре типа зубов; ключица; разделённые лучевые и локтевые кости, в результате чего кисть может поворачиваться на 180°; пять подвижных пальцев на каждой конечности; большие пальцы рук противопоставлены остальным пальцам, что позволяет захватывать предметы; ногти вместо когтей.

С человекообразными обезьянами – антропоидами, к которым относятся орангутаны, гориллы и шимпанзе, человек имеет ещё ряд дополнительных сходств. Мимика антропоидов очень похожа на мимику человека (рис. 170), они имеют те же четыре группы крови, болеют теми же болезнями. Между человеком и человекообразными обезьянами имеется много общего в составе белков и строении генетического аппарата. Так, шимпанзе имеет 48 хромосом вместо 46, которыми обладает человек, и 98 % общих с человеком генов.

Однако существует целый ряд признаков, свойственных только человеку. Объём мозга человека значительно превышает его объём даже у человекообразных обезьян. У человека он в среднем составляет 1300–1400 $см^3$, в то время как у шимпанзе или гориллы – не более 700 $см^3$. Соответственно и строение

головного мозга у человека значительно сложнее, чем у остальных животных. Особенно велика в нём роль коры больших полушарий, в которой находится более половины нейронов всей нервной системы человека. По этой причине строение черепа человека отличается от строения черепа всех остальных существ.

Рис. 170. Мимика обезьяны и мимика человека

У всех позвоночных череп делится на два отдела – мозговой (черепная коробка с находящимся в ней мозгом) и лицевой. Среди всех животных только у человека мозговой отдел больше лицевого.

Человек – единственное существо, которое постоянно передвигается на двух ногах, сохраняя при этом вертикальное положение тела. Поэтому признаки, отличающие скелет человека от скелета остальных млекопитающих, в том числе и приматов, связаны с прямохождением. Прежде всего это S-образная форма позвоночника, обеспечивающая амортизацию при ходьбе. Особенно развит у человека поясничный изгиб позвоночника. Задние конечности человека длиннее передних, в то время как у других приматов наоборот. Стопа человека сводчатая, т. е. при ходьбе он опирается только на её заднюю и переднюю части, тогда как обезьяны опираются на всю стопу. Пальцы на стопе укорочены, и большой палец не противопоставлен всем остальным. На руке же, наоборот, большой палец сгибается в сторону, строго противоположную сгибанию других пальцев, тогда как у обезьян это свойство выражено только частично. Кроме того, у человека, в отличие от его сородичей-приматов, почти полностью исчез волосяной покров тела, значительно

уменьшились размеры клыков и развился голосовой аппарат гортани, участвующий в формировании речи.

Таким образом, человек является типичным животным: большинство свойственных ему качеств совпадает с теми, которыми обладают другие, особенно систематически близкие к нему организмы. Однако существуют некоторые (довольно немногочисленные) особенности, присущие только человеку и связанные с особенностями его психической и физической деятельности.

Человек как физико-химическая система

Теперь взглянем на человека с точки зрения физических законов и происходящих в его организме химических реакций. В принципе и в этом отношении человек практически не отличается от других животных.

Существование человека и законы термодинамики

Существование любого живого организма, а особенно человека в силу сложности и часто непредсказуемости его поведения, казалось бы, противоречит второму началу термодинамики. В самом деле, согласно этому закону, энтропия, постоянно возрастая, должна разрушать любые упорядоченные структуры. Поэтому такая невероятно сложная система, как организм, не может существовать и доли секунды. В то же время живые организмы по термодинамическим понятиям существуют невероятно долго, а в принципе вообще бессмертны, так как способны давать потомство, у которого жизнь каждый раз стартует сначала. Более того, жизнь на Земле не только не подвержена деградации, но и эволюционирует, т. е. её организация постоянно усложняется. Когда-то даже был поставлен такой вопрос: «Могут и Карно, и Дарвин быть правы?» На самом-то деле прямого противоречия между термодинамикой и биологией нет. Второе начало установлено для изолированных систем, в которых энтропия постоянно стремится к максимуму и где в конце концов устанавливается равновесие. Живые же системы являются открытыми, в них постоянно поступает извне энергия, а потому второе начало здесь неприменимо.

В 40-х гг. XX в. автор принципа неопределённости, лауреат Нобелевской премии Эрвин Шредингер в книге «Что такое жизнь?» указал на то, что одних статистических закономерностей

недостаточно для объяснения природы жизни. Мы уже говорили о строении и работе генетического аппарата. ДНК, определяющая все наследственные признаки, устроена так, что в ней нельзя поменять один нуклеотид на другой или переставить их местами без серьёзных последствий для организма. Недостаточно, чтобы количество аденина в среднем равнялось количеству тимина: каждое из этих оснований должно занимать в хромосоме строго определённое место. А это уже выходит за пределы возможностей синергетики.

Невероятная упорядоченность химических реакций и структур в организме человека несоизмерима с тем порядком, который возникает в неживых самоорганизующихся системах, рассматриваемых термодинамикой неравновесных процессов. Кроме того, причины возникновения этих порядков совершенно различны. Если в диссипативных структурах порядок возникает из беспорядка, то в живых организмах порядок возникает из уже существующего порядка, так как всё живое возникает только из живого. Поэтому маловероятно, что принципы термодинамики неравновесных процессов способны пролить свет на возникновение жизни. Таким образом, существование жизни и самого человека хотя и *не противоречит* законам термодинамики, но и *не вытекает* из них.

Проверьте свои знания

1. К какому царству, типу, классу и отряду принадлежит человек? Назовите других хорошо известных вам представителей этих систематических групп.
2. Укажите общие признаки человека и других млекопитающих.
3. Каково значение сводов стопы у человека? Для ответа на этот вопрос вспомните материал курса «Человек и его здоровье».
4. Почему существование жизни не противоречит второму началу термодинамики?
5. Почему синергетика не может в полной мере объяснить работу живых организмов?

Задания

1. Подумайте и обсудите в классе, в связи с чем в процессе эволюции у человека практически полностью исчез шёрстный покров. При необходимости воспользуйтесь дополнительными

источниками информации.

2. Выберите критерии сравнения, составьте и заполните таблицу «Сходство и различия человека и других высших приматов».

§ 55 Этапы эволюции человека

О, сколь схож с человеком зверь
гнусный обезьяна!

Карл Линней

Как вам уже известно, в конце мелового периода животный мир планеты стал радикально меняться. В это время от примитивных насекомоядных, отряда, к которому принадлежат современные ежи, кроты и землеройки, отделился отряд приматов, эволюция которого протекала на протяжении кайнозойской эры. Вначале это были низшие приматы, полуобезьяны (лемуры и лори). Одним из самых примитивных видов современных приматов является тупайя – животное, скорее напоминающее белку, крысу или землеройку, чем обезьяну. В дальнейшем от низших приматов, расселившихся к тому времени по всей планете, отошла линия настоящих обезьян. Вскоре после этого закрылись сухопутные проходы между Европой и Америкой, и обезьяны Старого и Нового Света стали эволюционировать независимо. Обитатели Америки получили название широконосых обезьян, а обитатели Старого Света, т. е. наши предки, – узконосых. Значительная часть узконосых обезьян дала начало семейству мартышкообразных, к которому относятся мартышки, макаки и павианы. Но помимо них от общего обезьяньего ствола отделилась ветвь ***гоминоидов,*** от которых произошли человекообразные обезьяны ***(понгиды)*** и люди ***(гоминиды).***

Древнейшими общими предками понгид и гоминид считаются африканские ***дриопитеки*** (древесные обезьяны), особенно обезьяна, называемая проконсулом (по кличке шимпанзе Консул, жившего в Лондонском зоопарке). Первой из обезьян, отделившейся от общего понгидо-гоминидного ствола, был орангутан, обитающий ныне в Юго-Восточной Азии. Это разделение произошло около 18 млн лет назад (рис. 171).

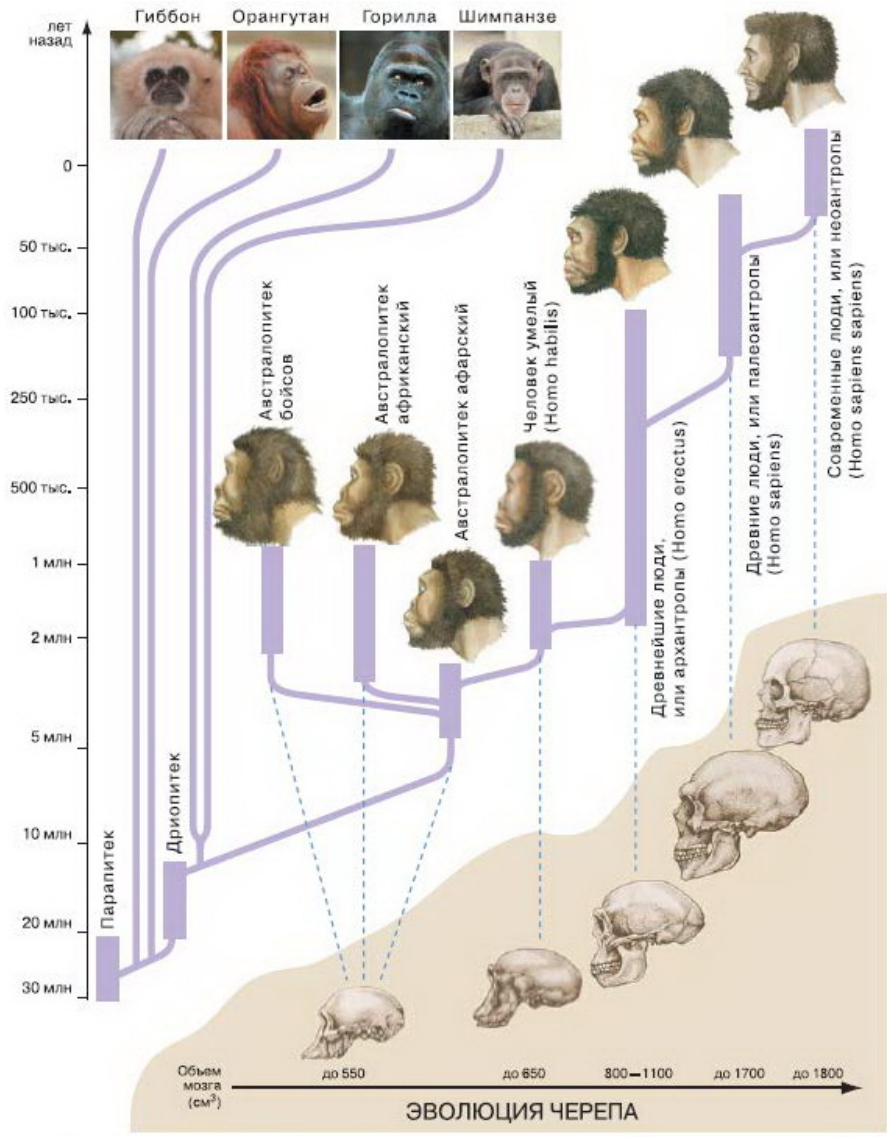


Рис. 171. Эволюционное древо человека

Два других вида понгид – горилла и шимпанзе – остались жить в Африке. Примерно 9 млн лет назад произошло отделение горилл, и, наконец, около 7 млн лет назад человек разошёлся со своим последним родственником – шимпанзе и образовал собственное семейство – гоминиды, тогда как остальные обезьяны остались в семействе понгид. Существует мнение, что последним общим предком шимпанзе и человека был карликовый шимпанзе бонобо.

Австралопитеки

В конце неогена, т. е. около 5–3 млн лет назад, появились первые прямоходящие гоминиды. Поскольку их останки были найдены в Южной Африке, они получили название *австралопитеков,* что в переводе означает «южная обезьяна»[18] (рис. 172).

Рис. 172. Австралопитек (реконструкция Люси)

Позже австралопитеки, причём более древнего происхождения, были обнаружены и в Восточной Африке. Австралопитеки были довольно мелкими животными, ростом от 100 до 150 см и весом 35–55 кг, с небольшим (около 450 г) мозгом и очень крупными зубами. Размер их мозга был не больше, чем у современных человекообразных обезьян. Хотя они передвигались на двух ногах, но никаких орудий труда изготавливать ещё не умели. Возможно, они могли держать в руках пищу, камни или палки, но первые обтёсанные орудия

появились не раньше чем через 2 млн лет. Поздние австралопитеки приспособились к питанию грубой растительной пищей, у них уменьшились клыки, зато увеличились жевательные зубы, да и сами австралопитеки существенно увеличились в размерах, хотя размер их мозга за 2 млн лет не изменился. Они обитали в Африке рядом с предками современного человека, но не были нашими прямыми предками. Вымерли австралопитеки около миллиона лет назад.

Человек умелый

Первый вид, представляющий род Homo, т. е. собственно людей, произошёл от одной из ветвей довольно ранних австралопитеков примерно 2–2,5 млн лет назад и просуществовал на Земле около миллиона лет. Этот вид назвали ***Человек умелый*** (Homo habilis), так как люди этого вида уже умели делать несложные орудия. Они значительно уступали крупным хищникам в скорости бега и физической силе, не имели клыков и когтей, но компенсировали эти недостатки, придавая камням, костям и кускам дерева такую форму, что ими можно было резать, скрести и копать. Человек умелый жил в Восточной Африке, его рост был не выше 1,5 м, но мозг был значительно больше, чем у австралопитеков, и достигал массы 650–700 г.

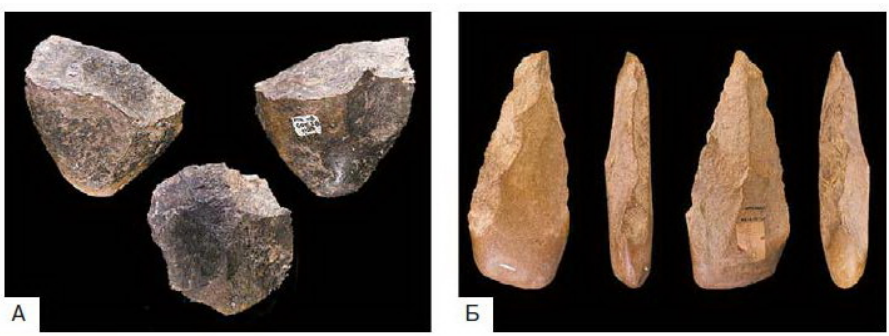


Рис. 173. Олдувайские чопперы (Homo habilis) (А) и ашельские рубила (Homo erectus) (Б)

Наиболее изучены каменные орудия человека умелого, найденные в Олдувайском ущелье, поэтому культуру этого вида называют олдувайской. Орудия человека умелого представляют собой отщепы круглых камней, изготовленные из них скребки, а также чопперы (рубила) (рис. 173). Орудия часто использовались для разделки трупов крупных животных, которых первобытные люди находили в степи.

Человек прямоходящий

Около 1,5 млн лет назад на смену человеку умелому стал приходить новый вид – ***Человек выпрямленный,*** или ***прямоходящий*** (Homo erectus). Это название ему дали ошибочно. Его останки были обнаружены раньше скелетов австралопитека, поэтому решили, что он был первым прямоходящим существом на Земле. Потом выяснилось, что это не так, но названия уже менять не стали. Вообще с названиями этого вида человека было много недоразумений. Впервые его обнаружил в 1891 г. на острове Ява Эжен Дюбуа, который назвал его *питекантропом* (обезьяночеловеком). Впоследствии фрагменты скелетов, похожих на питекантропа, находили в различных точках Земли и давали им разные названия: в Китае был найден синантроп, в Германии – гейдельбергский человек, а в Северной Африке – атлантроп. Фрагменты скелетов этого вида находили и в Олдувайском ущелье. Поскольку было похоже, что все найденные останки принадлежат одному и тому же виду, то в конце концов было решено признать реальность этого вида и назвать его человеком прямоходящим.

По сравнению с человеком умелым Homo erectus имеет как прогрессивные, так и примитивные черты, поэтому его считают промежуточной формой между австралопитеком и человеком разумным. Главной особенностью, резко отличающей его от всех предков и сближающей с человеком разумным, является строение черепа. Впервые за всю эволюцию мозговой отдел черепа у него стал больше лицевого. Объём мозга человека выпрямленного составлял не менее 800 $см^3$, а иногда превышал 1000 $см^3$. Он умел пользоваться огнём (а возможно, и добывать его) для обогрева, приготовления пищи и защиты от хищников, а также сооружать долговечные каменные постройки, изготавливал наковальни (рабочие плиты), ударники (отбойники), свёрла, лезвия, зубила и другие орудия труда. Обнаружены доказательства того, что люди этого вида не только использовали изготовляемые ими орудия для срезания растений и разделки убитых хищниками животных, но и сами активно охотились на крупную дичь, объединяясь для этого в группы, чтобы спланировать и осуществить преследование или засаду. Объектом охоты человека этого времени были кабаны, бизоны, олени, лошади, носороги и обезьяны, хотя есть свидетельства, что люди не пренебрегали и каннибализмом.

Неандертальцы и кроманьонцы

Не все представители человека прямоходящего имели одинаковый уровень развития. За более чем миллион лет своего существования они прогрессировали, объём их мозга увеличивался, и, хотя их физический облик мало изменился, они дали начало новому виду, известному под названием архаический сапиенс, от которого произошли древние люди *неандертальцы* и люди современного типа, называемые *кроманьонцами.* Неандертальцы появились около 200 тыс. лет назад. Впервые их стоянки были обнаружены в Германии, в долине реки Неандер, откуда и произошло их название. Неандертальцы были широко распространены почти по всей Европе и Юго-Западной Азии, частично обитали в Африке. Культура неандертальцев сделала огромный шаг вперёд по сравнению с культурой человека прямоходящего, что помогло им пережить суровые зимы ледникового периода. Неандертальцы жили в обогреваемых пещерах или в построенных ими хижинах. Для изготовления одежды они каменными ножами раскраивали шкуры, а затем прокалывали их каменным или костяным шилом и скрепляли сухожилиями. Неандертальцы были первыми людьми, которые хоронили своих мёртвых сородичей. Захоронения носят явно ритуальный характер, что говорит о том, что они обладали абстрактным мышлением и, возможно, верили в загробную жизнь. Кроме того, они лечили больных и раненых соплеменников и заботились о них. Об этом говорят останки неандертальцев с травмами, которые не позволили бы им жить без посторонней помощи.

И все же, несмотря на все культурные достижения, неандертальцы перестали существовать примерно 30 тыс. лет назад. Причина этого исчезновения ещё не совсем ясна. Дело в том, что около 100—50 тыс. лет назад появились люди современного типа (Homo sapiens sapiens), известные как кроманьонцы, которые, скорее всего, произошли от того же архаического сапиенса, что и неандертальцы, и благополучно сосуществовали с ними в течение многих тысяч лет. До сих пор не выяснено окончательно, представляли неандертальцы и кроманьонцы два подвида одного вида или же были самостоятельными видами. В первом случае не исключено, что они генетически смешались путём смешанных браков, а во втором – следует полагать, что неандертальцы были вытеснены более приспособленными кроманьонцами в результате конкурентной борьбы.

Проверьте свои знания

1. Кто был общим предком человека и человекообразных обезьян?

2. Объясните, почему современных человекообразных обезьян нельзя считать предками человека.

3. Где и когда жили австралопитеки?

4. Кто был первым представителем рода Homo? Как называлась культура этих людей?

5. Почему тот факт, что объём мозгового отдела черепа у Homo erectus стал больше лицевого, является очень важным в эволюции человека?

6. Где впервые были обнаружены стоянки неандертальцев?

7. Охарактеризуйте культуру неандертальцев: что свидетельствует о существовании у неандертальцев абстрактного мышления?

Задания

Многие современные антропологи эволюцию человека подразделяют на этапы «архантропы», «палеоантропы», «неоантропы». Объясните происхождение этих названий и определите, к каким названным этапам можно отнести кроманьонцев, неандертальцев и человека прямоходящего.

§ 56 Происхождение и расселение современного человека. Расы

Где Вы теперь? Кто Вам целует пальцы?
Куда ушёл Ваш китайчонок Ли?..
Вы, кажется, потом любили португальца,
А может быть, с малайцем Вы ушли.

В последний раз я видел Вас так близко.
В пролёты улиц Вас умчал авто.
Мне снилось, что теперь в притонах Сан-Франциско
Лиловый негр Вам подаёт манто.

Александр Вертинский

Среди гипотез происхождения человека долгое время обсуждались две основные. Первая, называемая гипотезой *полицентризма,* утверждала, что современный человек и его расы произошли в нескольких районах земного шара от классического неандертальца или даже от человека прямоходящего, широко расселившегося по территории Европы и Западной Азии. В соответствии со второй, известной как гипотеза *моноцентризма,* родиной современного человека считается всё та же Восточная Африка, откуда и пошло его глобальное расселение. Согласно первой теории, современные расы человека могли возникнуть от различных предков на разных территориях. В настоящее время большинство исследователей склоняется ко второй гипотезе, которая находит не только палеонтологическое, но и *палеогеномическое* объяснение.

Палеогеномика

Палеогеномика – сравнительно молодая наука, исследующая

наследуемость человека и его генеалогию при помощи изучения состава ДНК. Большинство ДНК, входящей в состав хромосом, непригодно для такого анализа, так как в каждом поколении при образовании гамет происходит кроссинговер – обмен участками гомологичных хромосом. Поэтому у потомка гены отца и матери оказываются перемешанными. Однако ДНК клетки находится не только в её ядре, но и в митохондриях, которые размножаются самостоятельным делением. Эта ДНК не обменивается участками с ДНК митохондрий других индивидов. Поэтому по её строению можно проследить родословную каждой особи, но только по материнской линии. Дело в том, что митохондрии сперматозоидов при оплодотворении погибают и во вновь образовавшемся организме отсутствуют. Поэтому у каждого человека в клетках присутствуют и размножаются только митохондрии, содержащиеся изначально в яйцеклетке, т. е. материнские. ДНК митохондрий вносит свой вклад в наследственность, которую в этом случае называют ***цитоплазматической.*** Поскольку в ДНК митохондрий время от времени происходят мутации, то по степени близости строения этой ДНК у различных индивидов можно определить степень их родства по женской линии. А как исследовать родство по отцовской линии? Оказывается, и это сделать несложно. Поскольку Y-хромосома присутствует только у особей мужского пола и передаётся от отца к сыну, то, изучая сходство и различия в строении этих хромосом, можно проследить наследуемость по мужской линии.

С помощью палеогеномики удалось пролить свет на многие спорные вопросы, касающиеся происхождения человека. Выяснилось, что неандертальцы не являются предками современного человека и не относятся к тому же биологическому виду. Скорее всего, оба вида произошли от одной из форм архаичного сапиенса, причём именно в Восточной Африке, и какое-то время существовали параллельно, пока 30 тыс. лет назад неандертальцы не исчезли как вид.

Расселение человека по планете

Палеогеномика также внесла свой вклад в изучение распространения современного человека по земному шару. Самые древние ископаемые остатки человека были найдены в Африке. Некоторые из обнаруженных черепов имеют давность более 100 тыс. лет. Это согласуется с данными пелеогеномики, которые показали, что первая женщина («генетическая Ева») и первый

мужчина («генетический Адам») жили в период около 100–150 тыс. лет назад.

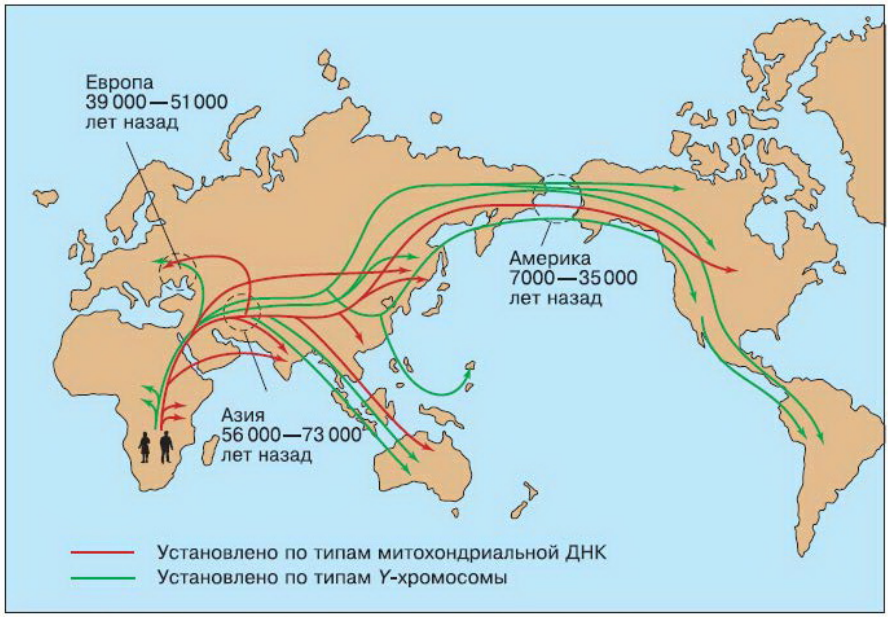


Рис. 174. Пути и время расселения людей по планете (на основе генетических данных)

Из Африки человек мигрировал в Европу и Восточную Азию, а затем, пройдя через Среднюю и Восточную Азию и Сибирь, перешёл через обмелевший в то время Берингов пролив в Северную Америку, откуда постепенно распространился до Южной Америки и добрался до Патагонии (рис. 174). Время появления человека в Америке оценивают по-разному. В настоящее время большинство исследователей сходятся на том, что это произошло около 30 тыс. лет назад, а 11 тыс. лет назад человек заселил уже весь Американский континент.

Вскоре после этого в обеих Америках началось массовое вымирание крупных млекопитающих: вымерли четыре вида мамонтов, три вида мастодонтов, гигантские броненосцы, саблезубые кошки и многие другие. Пик вымираний приходится на период от 12 до 10 тыс. лет назад, когда предки современных индейцев завладели обоими континентами. Существует мнение, что эти виды животных были истреблены человеком, обладавшим к тому времени охотничьим оружием. С помощью специальных приспособлений охотники метали копья с каменными наконечниками. С другой стороны, вымирание животных совпало с радикальными климатическими изменениями, связанными с таянием северных ледяных щитов. Возможно, что причинами

вымирания были оба фактора.

Ещё раньше, около 50 тыс. лет назад, люди появились в Австралии. Уровень океана тогда был на 50 м ниже, чем сейчас, и многие острова составляли единое целое. Для того чтобы попасть в Австралию, жителям Юго-Восточной Азии достаточно было преодолеть по морю на каноэ или плотах всего около 60 км.

Расы

Всё ныне живущее человечество представляет собой один биологический вид Homo sapiens, подразделяющийся на более мелкие структуры, называемые ***расами.*** Расы отличаются друг от друга физическими признаками – цветом кожи, цветом и формой глаз и волос, ростом, формой черепа и пр. Эти особенности передаются по наследству и почти не изменяются в результате непосредственного влияния среды. В настоящее время большинство исследователей разделяют человечество на три большие расы: европеоидную, монголоидную и экваториальную (австрало-негроидную). Каждая из этих больших рас подразделяется не несколько малых, так как внутри каждой расы существует довольно значительное разнообразие форм. Кроме того, между тремя основными расами существуют переходные формы (рис. 175).

Европеоидная раса характеризуется цветом кожи, изменяющимся от очень светлых до смугловатых оттенков (рис. 176).

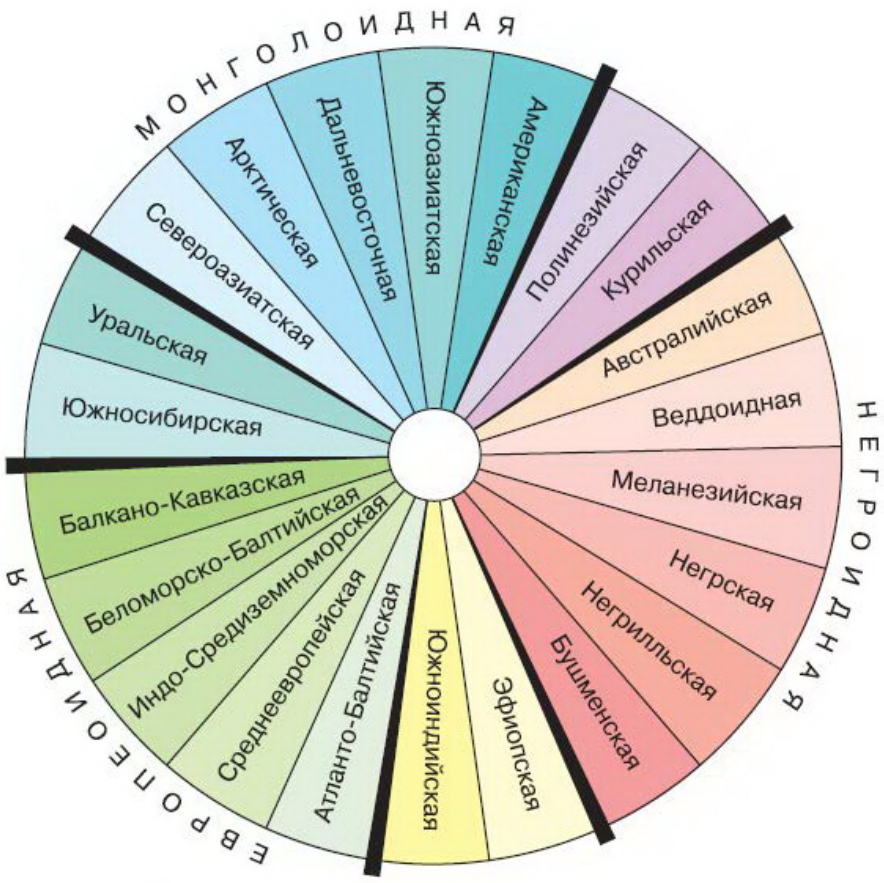


Рис. 175. Современные расы человека

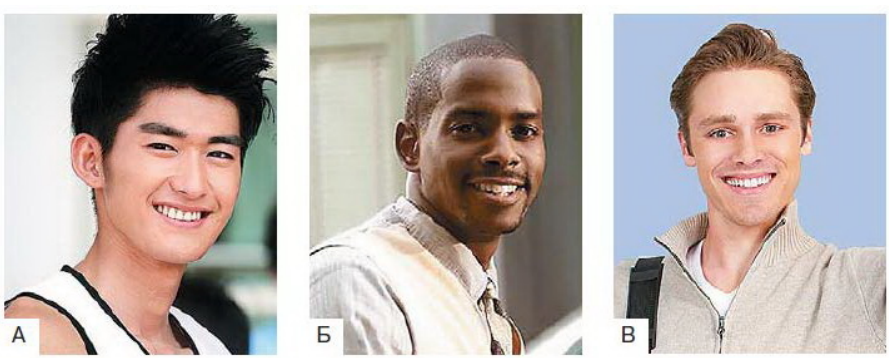


Рис. 176. Представители монголоидной (А), экваториальной (Б) и европеоидной (В) рас

Волосы у представителей этой расы обычно прямые или волнистые, чаще тёмного цвета. Нос удлинённый прямой или с выпуклой горбинкой. Как правило, у европеоидов сильно или умеренно развиты борода и усы. Исторической родиной этой расы

являются вся Европа, Кавказ, Ближний и Средний Восток и Северная Африка.

Представители *монголоидной расы* обладают смуглым (на юге) или светлым (на севере) цветом кожи, тёмными или иссиня-чёрными волосами (см. рис. 176). Волосы обычно жёсткие и прямые, значительно развита складка верхнего века. Борода и усы развиваются слабо, а волосы на теле практически отсутствуют. Исторической родиной монголоидов вначале были Средняя Азия и Дальний Восток, а затем в результате переселения они прочно обосновались в Сибири и на Американском континенте.

Люди, принадлежащие к *австрало-негроидной расе,* имеют цвет кожи от очень тёмных до жёлто-бурых (у бушменов) оттенков (см. рис. 176). Глаза карие, хотя описаны единичные случаи светлоглазых негров в Африке. Волосы могут быть от очень курчавых до широковолнистых (у австралийской ветви), нос часто очень широкий и маловыступающий, а губы имеют большую слизистую часть. По сравнению с европеоидами у негроидов более тяжёлый скелет. Историческая родина классических негроидов – Экваториальная и Южная Африка. Коренных жителей Австралии иногда выделяют в отдельную, *австралоидную расу,* так как, во-первых, они отличаются по многим морфологическим признакам от жителей Африки, а во-вторых, не вполне понятно их происхождение, поскольку они пришли из Юго-Восточной Азии, где преобладает монголоидное население.

Происхождение рас

Высказываемое прежде мнение, что расы образовались в различных географических точках от разных предков (полицентризм), в настоящее время почти никем не разделяется, поскольку в этом случае различия между представителями разных рас должны быть более выраженными. Не вызывает сомнений, что современный вид человека разумного, представители которого не принадлежали ни к одной из современных рас, произошёл от общего предка, скорее всего, в Восточной Африке. Постепенно расселившись оттуда, люди разделились на несколько типов, которые и дали начало современным расам. Появление рас, по-видимому, связано с тем, что в результате миграций отдельные популяции людей оказывались в разных природно-климатических условиях. Географическая изоляция способствовала закреплению в популяциях тех признаков, которые имели приспособительное

значение и позволяли популяции максимально адаптироваться к местным условиям. Тот факт, что анатомические признаки определённых рас обеспечивают адаптацию к соответствующим условиям внешней среды, имеет много подтверждений. Например, тёмная кожа, свойственная жителям южных регионов, способствует поглощению избыточного ультрафиолетового излучения, а удлинённый нос у северян помогает согревать вдыхаемый воздух. В человеческой цивилизации большую роль играют этнические, или национальногосударственные, образования, которые по существу представляют собой человеческие популяции. В пределах этих популяций могут заключаться межрасовые браки, что приводит к появлению людей, принадлежащих к переходным межрасовым формам. В некоторых регионах такие формы встречаются нередко. Примерами могут служить Индия, государства Центральной Азии и Латинской Америки.

Проверьте свои знания

1. В чём заключаются гипотезы полицентризма и моноцентризма в происхождении человека? Почему гипотеза моноцентризма имеет более веские основания?
2. Как определяется родословная по женской и по мужской линии?
3. Почему в процессе эволюции ни одна из рас не достигла в своём развитии уровня вида?
4. Организуйте и проведите в классе дискуссию на тему «Будут ли усиливаться или сглаживаться расовые признаки в будущем человеческом обществе?».

Задания

Кроме рас, в человеческом обществе существуют и другие сообщества, основанные на иных принципах, которым люди часто придают большое значение. Сравните понятия «раса» и «нация», «раса» и «языковая общность». Объясните, почему категорически нельзя употреблять такие сочетания, как, например, «польская раса», «китайская раса» и т. д. Какие слова, выделенные полужирным шрифтом в эпиграфе, не имеют отношения к расам? Что они обозначают?

§ 57 Развитие и старение человека

Сфинкс спросил:

– Кто ходит утром на четырёх ногах, в полдень – на двух, а вечером на трёх?

– Человек, – ответил Эдип. – В детстве, которое можно назвать утром жизни, младенец ползает на четвереньках, потом твёрдо стоит на ногах, а на закате жизни ходит с трудом, опираясь на «третью ногу» – палку.

Чудовище в отчаянии бросилось со скалы и погибло.

Из древнегреческого мифа

По своей биологической природе человек представляет собой типичный живой организм, принадлежащий к классу млекопитающих. Онтогенез человека также во многом сходен с онтогенезом других млекопитающих, хотя и имеет свои характерные особенности. В развитии любого организма выделяют две фазы: пренатальную (эмбриональную) – всё, что происходит до рождения, и постнатальную (постэмбриональную) – жизнь после рождения. Пренатальная фаза всех плацентарных млекопитающих включает одни и те же процессы: образование и дробление зиготы, стадии бластулы, гаструлы и нейрулы, внедрение зародыша в стенку матки, образование плаценты и дальнейший рост и развитие с формированием всех требуемых для последующего существования органов. Начало постнатального периода у всех млекопитающих связано с пребыванием возле матери и питанием выделяемым ею молоком. В этом отношении человек не составляет никакого исключения.

Особенности онтогенеза человека

По мере эволюции, однако, характер онтогенеза меняется. Это сказывается в первую очередь на соотношении продолжительности различных его этапов. Если, например, сравнить длительность этих этапов у самых примитивных

приматов (тупай) с близкими родственниками человека (понгидами), то мы увидим, что продолжительность детства увеличивается от 6 месяцев у тупай до 6 —12 лет у понгид, а длительность жизни возрастает от 3–4 лет у первых до 50 и более лет у вторых. Вообще характерной чертой онтогенеза человекообразных обезьян и особенно человека является относительное сокращение репродуктивного периода, т. е. времени, в течение которого организм способен к размножению. Прежде всего, обратим внимание на очень долгое детство человека. Если оценивать биологическое детство как период до окончания полового созревания, то у человека оно заканчивается к 14–17 годам, т. е. составляет около $^1/_5$ всей продолжительности жизни, в то время как, например, кошки достигают половой зрелости к 6–9 месяцам при продолжительности жизни около 15 лет, т. е. период их детства составляет всего около $^1/_{15}$—$^1/_{20}$ длительности их жизни. К длительному периоду детства человека надо добавить характерный, пожалуй, только для него период юности, когда он уже достиг биологической зрелости, но ещё не достиг социальной. Поэтому общественное мнение, а часто и законодательство не одобряет в этом возрасте создания семьи, полноправного участия в общественных институтах и пр.

Также для человека характерна продолжительная жизнь после окончания репродуктивного периода, которую называют менопаузой. Она занимает около трети продолжительности жизни. Среди других животных такая менопауза наблюдается только у некоторых обезьян.

Такое нарушение пропорции жизненных периодов связано с особым социальным образом жизни человека и объясняется тем, что для него важно не только произвести потомство, как это бывает у многих животных, но и воспитать и обучить его. Вспомните, что человек без обучения является совершенно беспомощным существом. Многие насекомые, обладающие сложным поведением, получают его от рождения. Птицы и млекопитающие могут что-нибудь перенять у родителей или сородичей, но могут обойтись и без этого. Кошку не надо учить умываться и охотиться, она сможет это делать, даже если вырастет без матери. Человек же без обучения не сможет ни добывать еду, ни обслуживать себя, ни даже ходить на двух ногах, а уж тем более говорить. Для того чтобы всему этому научиться, ему требуется время. А пожилому человеку требуется время для того, чтобы научить молодых, т. е. передать им свой жизненный опыт.

Таблица 4

Границы возрастных периодов человека

Период	Границы
Грудной возраст	До 1 года
Раннее детство	До 3 лет
Детство	До 11 лет
Подростковый возраст	До 16 лет
Юношеский возраст	До 21 года
Зрелый возраст	До 60 лет
Пожилой возраст	До 74 лет
Старческий возраст	До 90 лет
Долгожители	90 лет и старше

А так как опыт этот большой, то и времени требуется много. Вспомните, что неандертальцы были первыми, кто лечил своих инвалидов. Они уже понимали, что если инвалид больше не в состоянии что-либо делать сам, он может рассказать, как это делать, и тем самым принести пользу общине. Вот почему у человека такое длинное детство и такая длинная старость.

Для того чтобы охарактеризовать возрастную ступень, на которой находится человек, требуется система, позволяющая разбить жизнь человека на определённые периоды. В российских медико-биологических исследованиях используется схема, которую мы приведём в несколько сокращённом виде (табл. 4).

Рост и развитие

Вплоть до юношеского возраста развитие человека неизменно сопровождается увеличением размеров его тела, т. е. ростом. Скорость роста и предел, которого он может достигнуть, определяются в первую очередь гормоном, который вырабатывается в гипофизе, – *гормоном роста*. Вспомните материал из курса биологии «Человек и его здоровье». Нижняя часть промежуточного мозга – ***гипоталамус*** – управляет эндокринными железами и вегетативной нервной системой, а также оказывает непосредственное влияние на главную железу внутренней секреции, расположенную прямо под ним и называемую ***гипофизом***. Если гормона роста не хватает, то человек становится карликом, если же он выбрасывается в кровь в избытке – то гигантом, достигающим в высоту 2 м и более. В разные периоды жизни гормон роста выделяется в различных

количествах, и поэтому рост человека увеличивается неравномерно (рис. 177).

Рис. 177. Идеальные кривые скорости роста длины тела здоровых мальчиков и девочек. Чётко выражены скачки роста. По наступлению всех стадий девочки опережают мальчиков. I – младенчество; C – раннее детство; J – детство; A – подростковый возраст; M – юношеский и зрелый возраст

В течение первых двух лет жизни ребёнок растёт очень быстро, его рост увеличивается на 15–20 см за год. Затем скорость роста снижается и устанавливается на постоянном уровне, равном 5–6 см в год. В период полового созревания, т. е. примерно в 11–12 лет у девочек и в 13–14 лет у мальчиков, возникает так называемый пубертатный скачок или ростовой спурт: в течение двух лет рост девочек увеличивается в среднем на 15, а у мальчиков на 18 см. После этого скорость роста резко уменьшается, и к 17 годам у девушек и к 20 у юношей рост обычно прекращается.

Изменение гормонального фона определяет не только рост, но и почти все функции организма. Каждому возрасту соответствует определённое соотношение выделяемых гормонов. Половые гормоны оказывают своё действие не только во время полового созревания и репродуктивного периода, но начинают влиять на развитие организма ещё до половой зрелости и даже в пренатальном периоде, где они формируют вторичные половые признаки. В частности, это относится к соотношению длины костей в различных частях тела. Так, у женщин, как правило, второй палец на руке бывает длиннее четвёртого, в то время как у мужчин дело обстоит как раз наоборот. Это соотношение устанавливается ещё до рождения.

После периода зрелости наступает постепенное старение организма, в процессе которого тоже принимают участие определённые гормоны. Причина старения организма до настоящего времени ещё не выяснена, хотя по этому поводу существует множество теорий. Во всяком случае, старение тоже, безусловно, связано с происходящей в организме гормональной перестройкой. В качестве примера приведём тот же гормон роста гипофиза. Мы знаем, что в детском и юношеском периоде он влияет на скорость роста.

Рис. 178. Долгожительница

После того как рост прекращается, гормон продолжает вырабатываться, выполняя другие функции, но к старости его образование в гипофизе резко снижается, что считают одной из причин явлений, связанных с процессом старения.

Мы пока не можем сказать, можно ли увеличить средний предельный возраст человека, который в настоящее время равен примерно 90 годам. Различие между странами с низким уровнем жизни и неразвитым медицинским обслуживанием и государствами с высоким уровнем жизни заключается в том, что в первом случае вероятность смерти человека на каждом году его жизни достаточно велика и плавно возрастает по мере его старения. Во втором же случае вероятность того, что человек умрёт в течение ближайшего года, долгое время остаётся

небольшой, но затем резко увеличивается и стремительно приближается к единице, когда возраст человека достигает 90 лет. И хотя существуют отдельные долгожители, переживающие возраст в 100 лет и более, нам пока неизвестно, можно ли сделать так, чтобы этот рубеж стал нормой для большинства (рис. 178).

Проверьте свои знания

1. Что такое пренатальный и постнатальный периоды развития?

2. Объясните, почему человеку свойственны долгое детство и долгая старость.

3. Где вырабатывается гормон, регулирующий рост человека? Вспомните, какие ещё гормоны вырабатывает гипофиз и на что они влияют.

4. Что такое пубертатный скачок роста? В каком возрасте он происходит?

5. Вспомните, как называют рост, который заканчивается в определённый период жизни. У каких позвоночных животных другой тип роста? Приведите примеры. Подумайте, с чем связаны эти отличия.

6. Что вам известно о детях-«маугли»? Обсудите в классе в режиме «круглого стола», смог бы герой сказки Киплинга вернуться в человеческое общество и стать его полноценным членом в реальной жизни.

Задания

1. Проведите исследование. Измерьте длину указательного и безымянного пальцев у всех учеников класса. Подсчитайте среднее соотношение между этими длинами отдельно для девушек и для юношей. Полученные данные сравните.

2. Выясните, как увеличивался ваш рост в течение жизни. Эти данные вы можете получить из своей медицинской карты. Постройте график. На оси x укажите возраст, на оси y – скорость роста (см/год). Оцените размер вашего ростового спурта.

3. Используя дополнительную литературу и ресурсы Интернета, подготовьте сообщение о существующих в настоящее время теориях старения.

4. Согласны ли вы с утверждением «Мера человечности любого общества измеряется отношением этого общества к детям и старикам»? Организуйте и проведите в классе дискуссию на эту

тему.

§ 58 Инфекционные заболевания

Не видя пользы от стремления избежать заразы, человечество перешло к противоположной крайности и стало искать её.

Н. Ф. Гамалея, российский врач, микробиолог и эпидемиолог

Инфекционные заболевания – это группа заболеваний, вызываемых проникновением в организм патогенных (болезнетворных) микроорганизмов (бактерии, грибы, простейшие) и вирусов. Для того чтобы микроорганизм вызвал инфекционное заболевание, он должен обладать *вирулентностью* (ядовитостью; от лат. «вирус» – яд), т. е. способностью преодолевать сопротивляемость организма и проявлять токсическое действие. Одни патогенные агенты вызывают отравление организма выделяемыми ими в процессе жизнедеятельности экзотоксинами (столбняк, дифтерия), другие освобождают токсины (эндотоксины) при разрушении своих тел (холера, брюшной тиф).

Одной из особенностей инфекционных заболеваний является наличие *инкубационного периода* – периода, который продолжается от времени заражения до появления первых признаков болезни. Длительность этого периода зависит от способа заражения и вида возбудителя и может длиться от нескольких часов до нескольких лет (последнее бывает редко). Место проникновения микроорганизмов в организм называют *входными воротами инфекции.* Для каждого вида заболевания имеются свои входные ворота. Так, например, холерный вибрион проникает в организм через рот и не способен проникать через кожу.

Существует множество классификаций инфекционных заболеваний. Одна из наиболее распространённых основана на указании систем органов, страдающих при данном заболевании. Согласно этой классификации, выделяют следующие болезни:

• кишечные (холера, дизентерия, сальмонеллёз);

• дыхательных путей (грипп, аденовирусная инфекция, коклюш, корь, ветряная оспа);

• «кровяные» (малярия, ВИЧ-инфекция);

• наружных покровов (сибирская язва, столбняк);

• и другие группы.

В зависимости от природы **возбудителей** инфекционные болезни классифицируются на:

• прионные (болезнь Крейтцфельда – Якоба, куру);

• вирусные (грипп, парагрипп, корь, вирусные гепатиты, ВИЧ–инфекция, цитомегаловирусная инфекция, менингит);

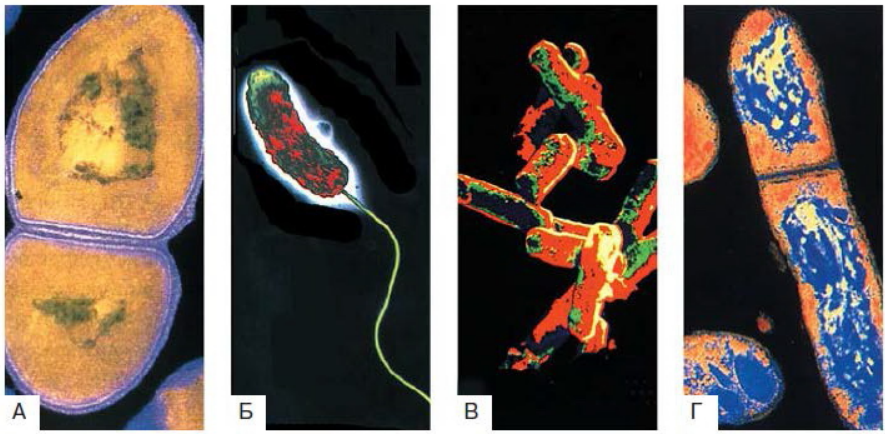


Рис. 179. Некоторые представители современных бактерий: А – стрептококк (в процессе деления); Б – холерный вибрион; В – палочковидная бактерия клостридиум; Г – палочковидная микобактерия, вызывающая туберкулёз

• бактериальные (чума, холера, дизентерия, сальмонеллёз, туберкулёз, стрептококковая, стафилококковая инфекции, менингит) (рис. 179);

• протозойные, т. е. вызванные простейшими (амебиаз, токсоплазмоз, малярия, лейшманиоз, сонная болезнь);

• грибковые инфекции, или микозы (разноцветный лишай, стригущий лишай, грибок ногтей).

Инфекции, передающиеся половым путём

В отдельную группу, независимо от типа возбудителя (это могут быть и простейшие, и бактерии, и вирусы), выделяют инфекции, передающиеся половым путём (ИППП). В российской медицине такие заболевания ещё называют венерическими болезнями. К ним относят гонорею, генитальный герпес, сифилис, трихомониаз, хламидиоз, ВИЧ-инфекцию и многие другие. Болезни этой группы известны очень давно, но и в настоящее время они, к сожалению, встречаются очень часто. К большинству венерических болезней иммунитет не образуется,

поэтому вылечившиеся люди могут заразиться и заболеть снова. Важно знать, что многие подобные инфекции могут передаваться не только при половом контакте, но и другими способами, например через предметы общего пользования, ребёнку – во время родов.

Неизлеченные или длительные инфекции этой группы могут вызвать серьёзные осложнения: мужское и женское бесплодие, воспаление внутренних половых органов и даже раковые опухоли.

Протозойные инфекции

Из предыдущих курсов биологии вам уже известны некоторые простейшие, вызывающие заболевания у человека. Поражение населения протозойными инфекциями очень высокое.

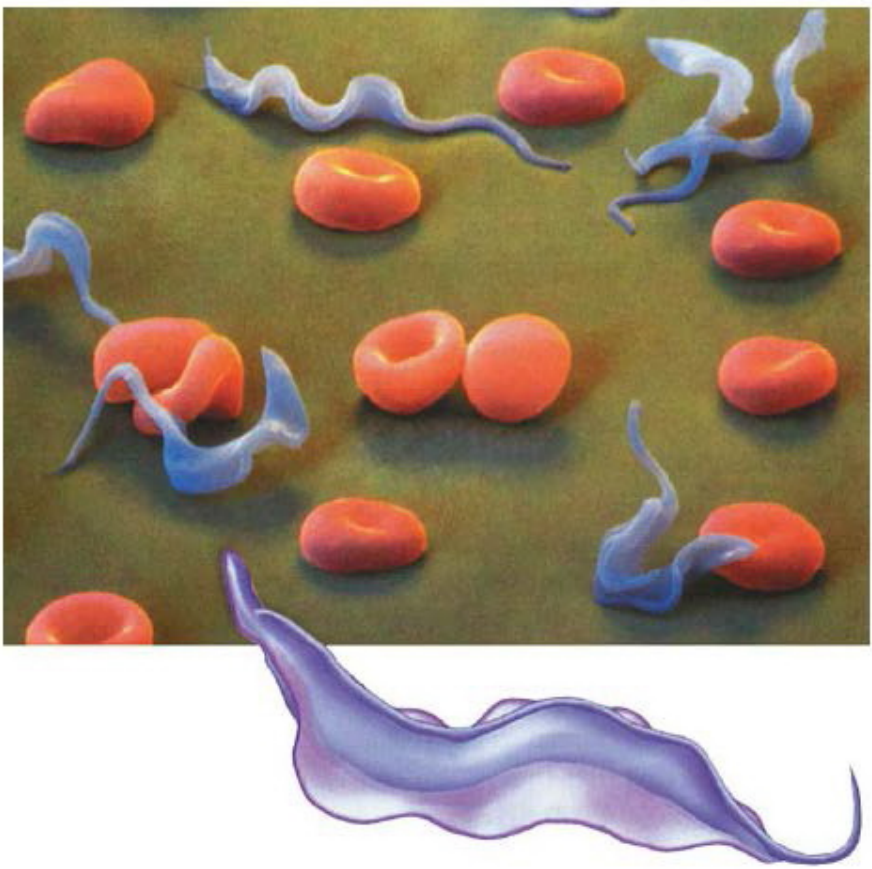


Рис. 180. Трипаносома в крови человека

Простейшие паразитируют в различных органах и тканях: в

крови, кишечнике, ЦНС, печени, лёгких и т. д. Возбудители передаются человеку через переносчиков, половым путём, через желудочно-кишечный тракт.

Трипаносомы. Небольшие жгутиконосцы, 15–50 мкм длиной, с лентовидным сплющенным телом, заострённым на обоих концах (рис. 180), являются возбудителями тяжёлого заболевания человека – африканской *сонной болезни.* Природным резервуаром трипаносом служат антилопы, которые не страдают от их присутствия. Переносчиком возбудителей является кровососущая муха цеце. На ранних стадиях развития болезни паразиты размножаются в крови человека и вызывают лихорадку. Затем трипаносомы попадают в лимфатические железы, а позднее в спинномозговую жидкость. Это приводит к нервному расстройству, сонливости и при отсутствии лечения к смерти от истощения. Возбудители сонной болезни были открыты французским учёным Луисом Самбоном в 1903 г. В первые три десятилетия XX в. от этого заболевания погибло более миллиона человек. В настоящее время существуют препараты, подавляющие развитие болезни на ранних этапах.

Лейшмании. Лейшмании – это опасные паразиты человека, которые переносятся москитами. Leishmania tropica вызывает *кожный лейшманиоз* (пендинскую язву). Это заболевание распространено в Средней Азии и Закавказье. Природным резервуаром являются грызуны, в основном большие песчанки. На месте укуса москита после инкубационного периода, который может длиться от 2 недель до 5 месяцев, образуется язва. В клетках изъязвлённой кожи обитают лейшмании. Спустя 1–2 года язва заживает, оставляя рубец. Leishmania donovani вызывает *висцеральный лейшманиоз.* Переносчиками этого вида лейшмании тоже являются москиты, а природным резервуаром – бродячие собаки. При укусе москитами лейшмании с кровью разносятся по организму человека и паразитируют в клетках внутренних органов (печени, селезёнки). Поражённые органы увеличиваются, и в отсутствие лечения человек погибает от лихорадки и истощения. Заболевание в основном распространено в Средней Азии, Индии и Индокитае. В настоящее время существуют эффективные препараты для лечения лейшманиозов.

Споровики. К споровикам относятся простейшие, ведущие исключительно паразитический образ жизни. Среди них множество опасных паразитов человека и животных. О малярийном плазмодии и его жизненном цикле вы уже знаете из курса биологии животных. Другим простейшим из этой группы, представляющим большую опасность для человека, является токсоплазма. Заболевание, которое вызывает этот паразит,

называют *токсоплазмозом,* и оно широко распространено по всему миру.

Основным хозяином токсоплазмы являются кошки, в кишечнике которых паразиты размножаются. Промежуточным хозяином паразита могут быть любые виды птиц и млекопитающих, включая человека. Заражение промежуточных хозяев происходит цистами токсоплазмы, попадающими в организм вместе с пищей или водой. Для человека наиболее опасны контакты с заражёнными кошками. Сами кошки заражаются токсоплазмой, поедая таких промежуточных хозяев, как мыши.

В кишечнике промежуточного хозяина, в том числе и человека, оболочки цист растворяются, и паразиты, внедряясь в кровеносные сосуды, с током крови разносятся по всему организму. Они могут осесть в печени, мышцах, мозге, глазах. В месте локализации паразиты размножаются бесполым способом, образуя огромные скопления. Через плаценту токсоплазма может передаваться плоду, что, как правило, вызывает его гибель.

Для того чтобы не заразиться токсоплазмозом, необходимо строго соблюдать санитарно-гигиенические нормы и быть предельно осторожным при общении с бездомными кошками.

Эпидемии: чума, холера, оспа

В прежнее время, до появления современных лекарственных препаратов, гигиенических средств и вакцинации, инфекционные заболевания были широко распространены по всему земному шару. Особенно опасными были заболевания, вызываемые чумной бациллой, холерным вибрионом и вирусом оспы. Они часто проявлялись в виде эпидемий, от которых иногда гибла большая часть населения.

Рис. 181. Питер Брейгель Старший. Триумф смерти. 1562 (фрагмент)

Рис. 182. Больная оспой девочка из Бангладеш

Наиболее древними и опасными были эпидемии *чумы* (рис. 181). Впервые в истории мировая эпидемия (пандемия) чумы была зарегистрирована в Восточной Римской империи в VI в. до н. э. во время правления византийского императора Юстиниана I. Оттуда болезнь распространилась на другие страны и унесла в общей сложности жизни более 20 млн человек. В середине XIV в. по Европе, Азии, Африке прокатилась пандемия чумы, получившая название «чёрный мор». Распространившись из естественного очага на территории пустыни Гоби, за несколько лет болезнь унесла жизни более 100 млн человек (по современным оценкам, в Европе тогда погибла почти половина населения, от 15 до 34 млн человек). Последняя мировая эпидемия чумы наблюдалась в середине XIX в.

Не менее опасными были эпидемии оспы, холеры и сыпного тифа. Вирусное заболевание – *натуральная*, или *чёрная, оспа* – было известно ещё в Древнем Египте, Китае и Индии, где у неё были даже свои богини (рис. 182). В Европу оспа проникла гораздо позднее. Считают, что её принесли туда участники походов Александра Македонского. В XV–XVII в. по Европе и Сибири прокатились обширные эпидемии, унёсшие жизни до трети населения.

Возбудитель ещё одного опасного заболевания – *холеры* – холерный вибрион обитает главным образом в южных водоёмах. Последняя крупная эпидемия холеры произошла в середине XIX в. – приблизительно в то же время, что и эпидемия чумы. Однако и в настоящее время возникают периодические локальные вспышки этого заболевания.

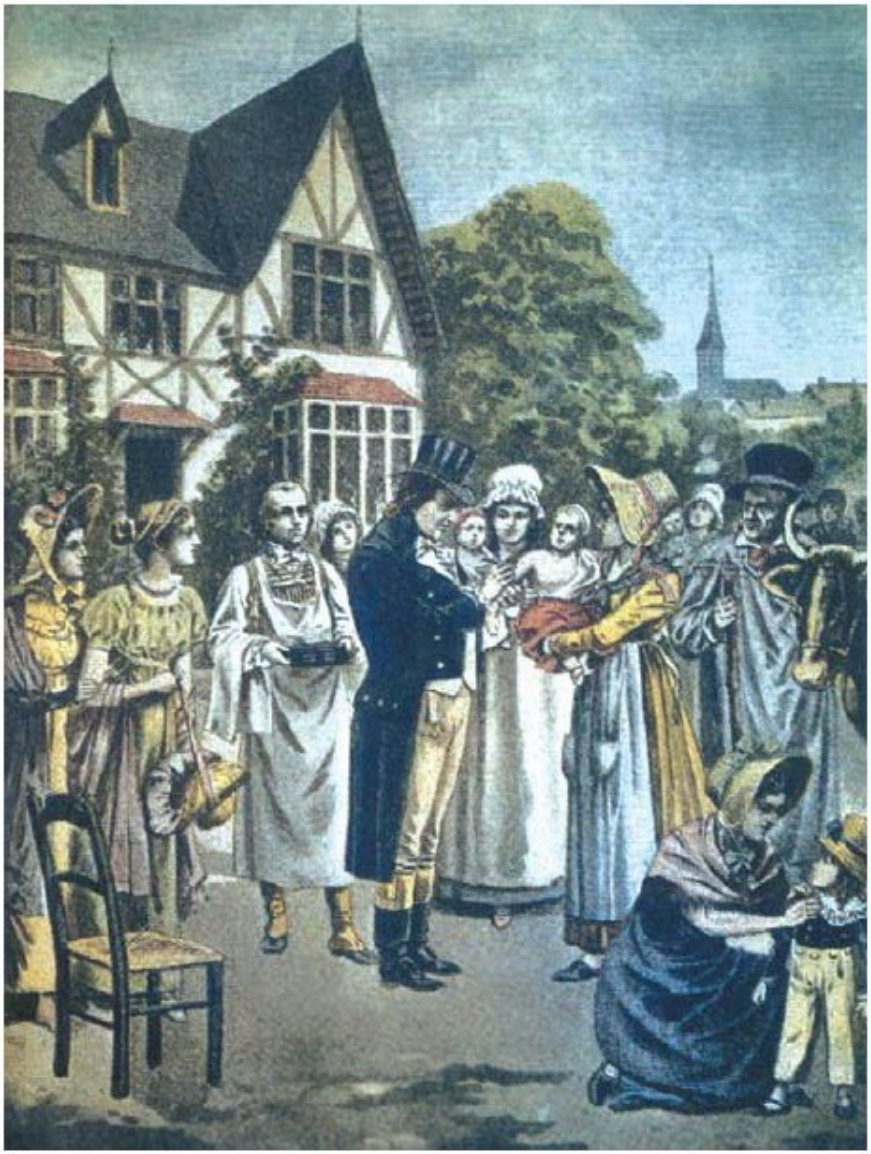


Рис. 183. Вакцинация, проводимая Эдвардом Дженнером

Борьба с инфекционными заболеваниями

Резкое снижение распространения инфекционных заболеваний было связано с применением прививок. Впервые систематические прививки против оспы стали использовать с начала XIX в. после работ английского врача Эдварда Дженнера, о

которых вы знаете из курса «Человек и его здоровье» (рис. 183). При вакцинации человеку вводят либо сильно ослабленный (живая вакцина), либо мёртвый, но сохранивший своё химическое строение возбудитель. Вызывая заболевание в очень лёгкой, часто незаметной, форме, вакцинация приводит к образованию антител, поэтому, если в дальнейшем в организм попадёт соответствующий возбудитель, он будет уничтожен и болезнь не разовьётся. Иммунитет также формируется после перенесения того или иного заболевания. Причём после некоторых заболеваний иммунитет сохраняется пожизненно, например после кори, краснухи, скарлатины и других «детских» болезней. К некоторым болезням у человека существует врождённый иммунитет, в таком случае возбудитель погибает при первом попадании в организм. Так, человек никогда не заболеет собачьей чумкой, так же как собака не заболеет гриппом. Кроме иммунной системы, стоящей на защите организма от инфекций, существуют и другие разнообразные способы защиты от проникновения в организм бактерий и вирусов. Например, бактерицидными свойствами обладают кожа, слюна, желудочный сок.

Иногда возможны случаи, когда возбудитель уже проник в организм и начал там свою разрушительную деятельность. В такой ситуации дополнительное введение возбудителя, даже ослабленного, может только причинить вред. Поэтому в этих случаях заболевшему человеку вводят раствор готовых антител – лечебную сыворотку. Все вакцины и сыворотки специфичны, т. е. обладают строгой направленностью действия. Так, например, антидифтерийная сыворотка не предохранит от других инфекционных заболеваний.

Другой причиной резкого сокращения заболеваемости инфекционными болезнями было создание эффективных лекарственных препаратов, о которых мы расскажем несколько позже.

Проверьте свои знания

1. Сформулируйте определения понятий «инкубационный период» и «входные ворота инфекции».

2. Какие вам известны классификации инфекционных заболеваний? Предложите свою классификацию, отличную от приведённых в параграфе. На каких свойствах и признаках основана ваша классификация?

3. Какую опасность представляют для человека заболевания, передающиеся половым путём?

4. Какие вам известны заболевания, вызываемые простейшими?

5. Как вы думаете, почему в Советском Союзе после 1982 г. прекратили делать прививки против натуральной оспы? Обсудите вашу точку зрения с одноклассниками.

6. Опираясь на знания, полученные на уроках биологии, объясните разницу между вакциной и сывороткой. Каков механизм их действия? Какие типы иммунитета они формируют?

Задания

1. Используя дополнительную литературу и ресурсы Интернета, подготовьте сообщение или презентацию о работах Э. Дженнера и Л. Пастера.

2. Выясните, какие прививки и в каком возрасте вам были сделаны и какие инфекционные заболевания вы перенесли. Сделайте вывод о том, к каким заболеваниям у вас должен быть иммунитет.

3. Используя дополнительную литературу и ресурсы Интернета, выясните, кто выступает в роли инфекционного агента в прионных болезнях, что такое прионы и каковы особенности прионных заболеваний.

4. Вспомните, что вам известно об иммунитете из курса «Человек и его здоровье». Составьте и заполните схему «Виды иммунитета». Кратко охарактеризуйте каждый вид иммунитета.

5. Используя дополнительные источники информации, выясните, какие болезни из существовавших ранее сейчас не вызывают эпидемии. С чем это связано? Какие заболевания, наоборот, появились сравнительно недавно? О чём это говорит?

§ 59 Паразитарные заболевания

Особенности паразитарных заболеваний

Причиной паразитарных заболеваний являются многоклеточные животные-паразиты – гельминты (черви) и членистоногие. Строго говоря, между инфекционными и паразитарными заболеваниями нет принципиальной разницы. И те и другие возникают вследствие того, что в теле человека поселяются живые организмы, которые отравляют его продуктами своего обмена, среди которых бывают крайне токсичные. Однако подобное разделение принято и в «Международной классификации болезней»: класс I носит название «Инфекционные и паразитарные болезни».

Паразитизм – это форма межвидовых взаимоотношений, в процессе которых один из видов (паразит) использует другого (хозяина) в качестве среды обитания или источника пищи. Совместная эволюция популяций паразитов и хозяев приводила к возникновению многочисленных адаптаций с обеих сторон. К специфическим приспособлениям паразитов, которыми они отличаются от свободноживущих организмов, относятся разнообразные органы прикрепления, высокая плодовитость, сложные циклы развития и др. Причём следует отметить, что паразиты, как правило, снижая жизнеспособность хозяина, не вызывают его быстрой гибели, потому что в итоге это привело бы к гибели самого паразита.

Паразитов подразделяют на *обязательных*, для которых паразитизм – единственно возможный образ жизни (ленточные черви), и *необязательных,* которые способны также и к самостоятельному существованию (некоторые нематоды).

Существуют *наружные паразиты,* которые обитают на поверхности тела хозяина, коже (комары, слепни, клещи), и *внутренние паразиты,* живущие в полостях тела, органах, клетках (среди многоклеточных животных – это аскариды, печёночный сосальщик, бычий цепень и др.). Паразитизм может быть *временным,* если паразиты используют хозяина только в момент питания (кровососущие насекомые), или *постоянным.* В последнем случае паразиты на всех стадиях своего жизненного цикла связаны с одним или несколькими хозяевами. Среди членистоногих преобладают наружные паразиты, а среди червей – внутренние.

Паразиты могут оказывать на организм человека различное

действие: вызывать механическое раздражение и аллергические реакции, повреждать ткани или органы, отравлять продуктами своего обмена, поглощать часть крови или пищевых веществ, усугублять течение других болезней. Паразиты могут также способствовать проникновению на месте внедрения их в ткани возбудителей инфекционных болезней.

Паразитарные болезни широко распространены. Например, по выборочным исследованиям, паразитами заражены около 8,5 % детей, посещающих детские дошкольные учреждения, и 11 % школьников.

Источником заражения является либо человек, уже страдающий паразитарным заболеванием, либо носитель определённой жизненной стадии паразита (человек или животные). При некоторых паразитарных болезнях человек может стать источником заражения для самого себя, как это часто происходит с детьми, заражёнными острицами (повторное заражение происходит при привычке грызть ногти, под которыми могут быть яйца остриц).

Возбудители паразитарных болезней в организм человека проникают через естественные отверстия, чаще через рот, иногда через мочеиспускательный канал, половые органы, через кожу. Возбудители могут передаваться с пищей и водой, через членистоногих переносчиков, при контакте с больным человеком, соприкосновении с почвой, а также воздушно-пылевым путём.

Некоторые паразитозы могут протекать скрыто, практически не оказывая влияния на жизнь и здоровье человека, другие нередко угрожают жизни и значительно ухудшают здоровье.

Паразиты человека

Из курса «Биология животных» вы уже знаете о многих животных, вызывающих паразитарные болезни. Жизненный цикл и особенности строения бычьего и свиного цепней, аскарид и остриц подробно изучают на уроках в основной школе. Однако кроме этих хорошо известных вам паразитических червей существует множество других животных, существенно отравляющих жизнь человеку. ***Круглые черви.*** Существует множество нематод, паразитирующих в подкожной клетчатке, мышцах, глазах, крови и желудочно-кишечном тракте человека.

Рис. 184. Причина «слоновой» болезни у человека – нитчатка Банкрофта

В тонком кишечнике человека может обитать *анкилостома,* или *свайник двенадцатиперстной кишки.* Яйца анкилостом для дальнейшего развития должны обязательно попасть во влажную почву. Личинки анкилостом питаются в почве, и только после второй линьки могут заразить человека. Они проникают в организм хозяина не только через рот с пищей, но и внедряясь через кожу. Не зря анкилостомоз ещё называют болезнью землекопов.

Возбудитель «слоновой» болезни у человека – *нитчатка Банкрофта* распространена в тропических странах (рис. 184). Половозрелые особи обитают в лимфатических сосудах, что вызывает закупорку сосудов и застой лимфы. Самки рождают множество личинок – микрофилярий. Для дальнейшего развития личинки должны попасть в организм промежуточного хозяина – комара.

Хозяевами *трихинеллы спиральной* могут быть свиньи, крысы и человек (рис. 185). Заражение происходит при поедании мяса, содержащего личинки паразита. В недостаточно проваренном или прожаренном свином мясе могут находиться мелкие известковые капсулы со спирально закрученными личинками трихинеллы. В

желудке человека под действием желудочного сока эти капсулы растворяются, и уже через двое суток личинки достигают половозрелости.

Рис. 185. Трихинелла спиральная (А) и её капсула в мышечной ткани (Б)

После спаривания самцы погибают, а самки рождают живых личинок (около 2 тыс. особей). Микроскопические личинки (размером около 0,1 мм) проникают в кровь и разносятся по организму. Попадая в мышцы, они разрушают мышечные волокна и образуют известковые капсулы. Мышечная фаза в развитии паразита вызывает сильные боли в мышцах. Миграция трихинеллы в глаза может привести к слепоте, а поселение её в мозге – вызвать летальный исход. Для борьбы с трихинеллёзом нужен строгий ветеринарный контроль и осмотр свиного мяса. При употреблении свиного мяса необходима его тщательная термическая обработка.

В соединительнотканном слое кожи, обычно на ногах человека, может паразитировать нематода *ришта.* Половозрелая самка достигает 120 см в длину при толщине всего 1–1,5 мм. Развитие ришты происходит со сменой хозяев. Из язвы, которая образуется в месте обитания червя, выделяются живые личинки. При попадании в водоём их проглатывают рачки-циклопы – промежуточные хозяева. При питье из водоёма человек может проглотить заражённых циклопов. Из кишечника человека личинки проникают в лимфатические сосуды, а оттуда – в подкожную клетчатку.

Плоские черви. Опасным для человека паразитом является *лентец широкий* – представитель класса Ленточные черви. Это один из самых крупных паразитов человека, его длина может превышать 10 м. Взрослый червь обитает в тонком кишечнике. В отличие от цепней, у лентеца есть маточное отверстие, через которое яйца в огромном количестве попадают в полость

кишечника, откуда в дальнейшем выносятся наружу вместе с фекалиями хозяина. В роли окончательного хозяина могут выступать человек, кошка, собака и дикие плотоядные животные, поедающие рыбу (медведь, лисица).

Для дальнейшего развития паразита его яйца обязательно должны попасть в пресную воду, где из них выходят плавающие личинки, покрытые ресничками. Через некоторое время личинку может проглотить веслоногий рачок (циклоп), который становится её первым промежуточным хозяином. В кишечнике рачка личинка сбрасывает реснички и превращается в личинку следующей стадии с шестью крючками. Эта личинка внедряется в тело хозяина и превращается в покоящуюся стадию. Заражённый рачок может быть съеден пресноводной рыбой. Из кишечника рыбы личинка проникает в мышцы и превращается в финну.

Заражение человека возможно при употреблении в пищу свежей, недостаточно прожаренной, просоленной или провяленной рыбы, в которой находятся финны лентеца. В кишечнике окончательного хозяина головка червя выворачивается, присасывается к стенке кишки, и начинается процесс формирования ленточной формы паразита. На территории России широкий лентец распространён в основном в северных районах, где употребляют в пищу сырую мороженую рыбу.

Пожалуй, самыми опасными паразитами человека среди класса сосальщиков являются *кровяные сосальщики (кровяные двуустки),* вызывающие заболевание *шистозомоз.* Эти паразиты широко распространены в тропических и некоторых субтропических странах Африки, Азии и Южной Америки. Отличительный признак этих червей – раздельнополость, что для сосальщиков является очень редким явлением. Однако, несмотря на разделение полов, самец и самка почти постоянно находятся вместе. Самка удерживается самцом в особом продольном желобке на его теле. Другая особенность этой группы заключается в том, что эти паразиты не продуцируют большое число яиц. Обычно в матке находится только одно оплодотворённое яйцо, снабжённое шипом. Этот шип облегчает проникновение яйца сквозь ткани хозяина во внешнюю среду. Из яйца, попавшего в воду, выходит личинка, которая внедряется в промежуточного хозяина – моллюска. Вышедшие из моллюска личинки следующего поколения активно плавают в поисках окончательного хозяина – человека или других млекопитающих. Человек заражается во время купания в открытом водоёме или при работе на орошаемых землях, например на рисовых полях. Личинки вбуравливаются в кожу и проникают в кровеносные

сосуды. По кровеносному руслу они попадают в крупные вены малого таза, где достигают половозрелости и приступают к размножению. Паразиты разрушают стенки сосудов и вызывают сильнейшие иммунные реакции организма. Воспаляются мочевой пузырь, почки и мочеточники, могут образовываться камни и возникать язвы.

По данным Всемирной организации здравоохранения, в настоящее время сотни миллионов человек в тропических странах заражены шистозомозом. В Африке, например, в некоторых районах кровяными сосальщиками поражено 80–90 % населения.

Известно, что люди страдают от шистозомозов с глубокой древности: окаменевшие яйца кровяных сосальщиков обнаружены в египетских мумиях, захороненных во II тыс. до н. э.

Членистоногие. Мучительную болезнь – клещевую чесотку вызывает *человеческий чесоточный зудень.* Крошечные, размером около 0,3 мм, самки клеща обитают в роговом слое эпидермиса кожи человека. Они прогрызают длинные ходы, куда откладывают яйца, вызывая при этом нестерпимый зуд. При расчёсывании поражённых участков кожи туда дополнительно попадает инфекция, приводящая к тяжёлым осложнениям. Обычно клещи повреждают участки самой нежной кожи (кожу между пальцами, под мышками, в паху, в местах сгибов конечностей). Заболевание передаётся при контакте или через предметы обихода. При появлении симптомов заболевания необходимо срочно обратиться к врачу.

Проверьте свои знания

1. Сравните инфекционные и паразитарные заболевания. В чём их сходство и отличия?
2. Как вы считаете, возможно ли возникновение эпидемий или пандемий паразитарных болезней? Объясните свою точку зрения.
3. Чем опасно заболевание шистозомоз?
4. Как происходит заражение человека лентецом широким?
5. Какие меры предосторожности необходимо соблюдать людям, отправляющимся в тропические страны?
6. Используя знания, полученные раньше на уроках биологии, вспомните, каким паразитическим червём можно заразиться воздушно-пылевым путём. В чём особенность жизненного цикла этого гельминта?
7. Кого называют основным, а кого – промежуточным хозяином паразита? Кто является основным хозяином бычьего и

свиного цепня? Может ли основной хозяин стать промежуточным? Если да, то при каких условиях?

Задания

1. Подготовьте памятку «Меры профилактики паразитарных заболеваний».

2. Составьте схему, иллюстрирующую многообразие паразитов. Дополните её примерами конкретных представителей.

§ 60 Сердечно-сосудистые и онкологические заболевания

У лошади была грудная жаба,
Но лошадь, как известно, не овца,
И лошадь на парады выезжала,
И маршалу про жабу ни словца!

А маршал, бедный, мучился от рака,
Но тоже на парады выезжал,
Он мучился от рака, но, однако,
Он лошади об этом не сказал!

Александр Галич

После того как в результате успехов медицины резко снизилась встречаемость инфекционных заболеваний и смертность от них, главными врагами человеческого здоровья стали сердечно-сосудистые и онкологические болезни. К первым относятся гипертония, стенокардия, инфаркт и инсульт. Для того чтобы разобраться в сути этих болезней, вспомним, как устроена сердечно-сосудистая система человека.

Сердечно-сосудистая система и давление крови

Основой её является сердце, которое сокращается примерно раз в 1 с в течение всей нашей жизни. Из сердца выходят два больших сосуда – аорта, по которой кровь начинает свой путь по всему организму, и лёгочная артерия, которая направляется в лёгкие для того, чтобы отдать накопившийся в организме углекислый газ и взамен насытить кровь кислородом. Сердце выбрасывает кровь в аорту под большим давлением и с большой скоростью (около 0,5 м/с). Далее аорта делится на артерии,

которые по мере удаления от сердца делаются всё уже и уже, потом эти артерии делятся на совсем тонкие капилляры, которые затем собираются в вены и несут кровь обратно к сердцу.

Чем дальше кровеносные сосуды находятся от сердца, тем ниже давление, которое кровь оказывает на их стенки. В поликлинике нам обычно измеряют давление в лучевой артерии, которая находится в предплечье, недалеко от сердца, поэтому оно лишь немного ниже, чем в аорте. Такое давление называют артериальным. При измерении артериального давления всегда называют две величины – нижнее и верхнее давление. Откуда они получаются? Верхнее, или максимальное, давление регистрируется сразу после того, как сердце с силой выбросит кровь в аорту, откуда она попадёт в лучевую артерию. В перерыве между сердечными сокращениями кровь постепенно распределяется по капиллярам и венам, достигая самого низкого значения непосредственно перед следующим сокращением сердца. Это и есть нижнее, или минимальное, давление. Значения максимального и минимального давления, хотя и связаны между собой, имеют разное физиологическое значение. Максимальное давление показывает, с какой силой сердце выбрасывает кровь, а минимальное – с какой скоростью эта кровь распределяется по сосудам.

Величина артериального давления – очень важный показатель состояния организма. Если оно слишком мало, в клетки из крови поступает недостаточно кислорода и питательных веществ, человек ощущает слабость и сонливость, его жизненный тонус снижается. Чрезмерное увеличение давления представляет ещё большую опасность: увеличивается давление тканевой жидкости на клетки, меняется проницаемость их мембран, нарушаются биохимические процессы, а сосуды с не очень толстыми стенками могут не выдержать оказываемого на них слишком высокого давления и лопнуть.

В организме существует множество регуляторных систем, задачей которых является поддержание кровяного давления на нужном уровне. Главным координатором этих процессов является гипоталамус – нижняя часть промежуточного мозга. Он регулирует давление, управляя вегетативной нервной системой, а также выделяя собственные гормоны непосредственно в кровь и управляя железами внутренней секреции. Между регулирующими кровяное давление системами и самим давлением существует отрицательная обратная связь: если давление возрастает, срабатывают механизмы, направленные на его снижение, и наоборот.

Гипотония и гипертония

Нарушение одного или нескольких регулирующих сердечно-сосудистую систему механизмов приводит либо к стойкому снижению артериального давления (гипотонии), либо, что бывает чаще, особенно в пожилом возрасте, – к его стойкому повышению (гипертонической болезни). Гипертония может иметь много различных причин – наследственные факторы, слишком большие или слишком низкие физические нагрузки, неправильное питание, например чрезмерное потребление соли или жира, употребление алкоголя, курение и др. Последствиями гипертонии могут быть такие опасные заболевания, как стенокардия, инфаркт и инсульт.

Стенокардия и инфаркт

При сужении коронарных артерий, доставляющих богатую кислородом кровь в сердечную мышцу, развивается *ишемическая болезнь* – самое распространённое в настоящее время заболевание сердца. Ишемическая болезнь может протекать остро, приводя к инфаркту, или хронически, вызывая периодические приступы стенокардии (грудной жабы). Как правило, сосуды сужаются из-за отложения на их внутренних стенках жироподобных веществ – холестерина и некоторых других соединений. Эти отложения называют атеросклеротическими бляшками (рис. 186). Они могут не только сузить просвет сосуда, но даже полностью перекрыть ток крови. Холестерин необходим организму, так как участвует во многих важных процессах, в частности служит материалом для синтеза многих гормонов. Но при нарушении некоторых процессов биохимической регуляции и при злоупотреблении жирами животного происхождения (сало, сливочное масло и др.) количество холестерина в крови человека значительно повышается.

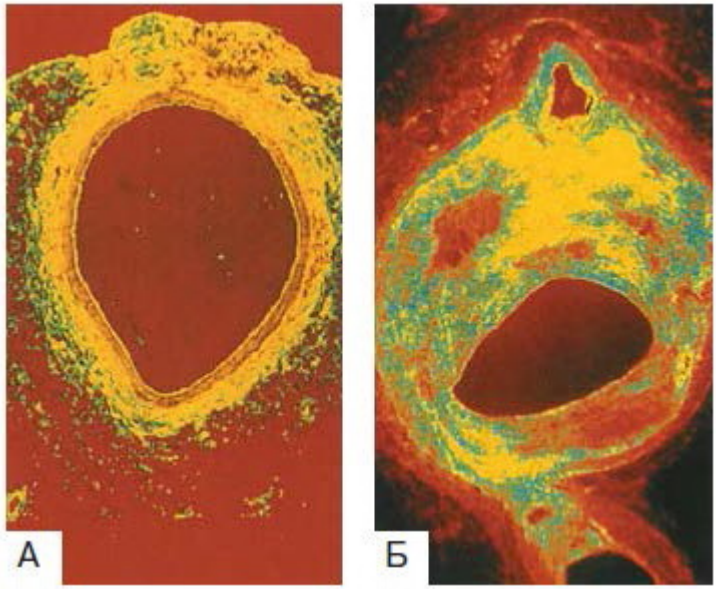


Рис. 186. Кровеносный сосуд в норме (А) и сосуд с атеросклеротическими бляшками (Б)

Приступы *стенокардии* обычно длятся несколько минут. Давящие болевые ощущения в центральной или левой части грудной клетки нередко распространяются на левую руку и сопровождаются слабостью и чувством страха. Во время приступа больному необходимо обеспечить полный покой и до приезда «скорой помощи» дать таблетку препарата, расширяющего сосуды сердца (валидола или нитроглицерина).

Если сосуд, снабжающий кровью какой-либо участок сердца, перекрывается совсем, то этот участок сердца погибает из-за отсутствия кислорода.

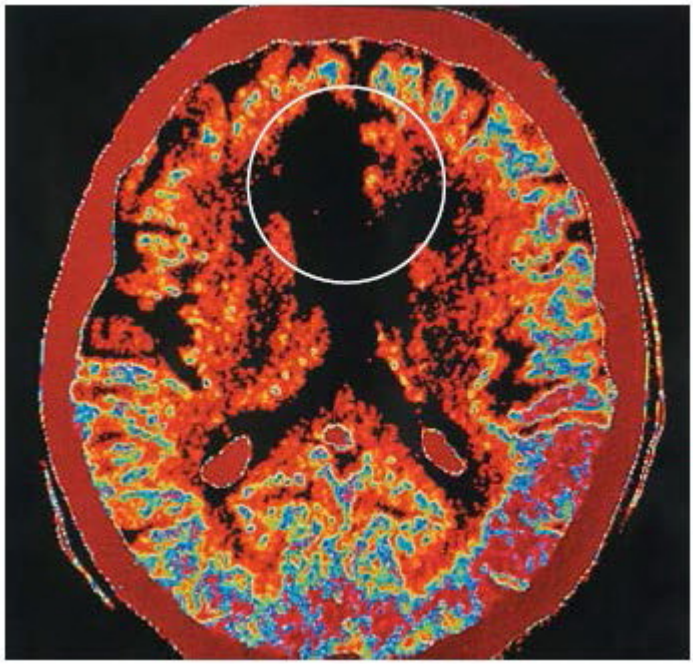


Рис. 187. Инсульт в головном мозге (очаг инсульта выделен)

Возникает *инфаркт миокарда*[19].

Последствия этого заболевания могут быть различными. Если погибает большой участок сердечной мышцы, сердце теряет способность сокращаться и останавливается. Человек умирает.

В других случаях поражённый участок замещается соединительной тканью, в сердце остаётся рубец, но человек выздоравливает и продолжает жить нормальной жизнью при условии соблюдения правильного режима.

Инсульт

Если кровь перестаёт поступать в один из участков мозга, в результате чего тот отмирает, возникает *инсульт,* при котором нарушаются те функции организма, которыми данный участок мозга управляет (рис. 187). Например, если это двигательная зона мозга, то наступает паралич – неспособность управлять мышцами. Причём поскольку нервные пути из правого полушария мозга направляются к левой стороне тела и наоборот, то при инсульте правого полушария парализуется левая половина тела, а при инсульте левого – правая. Так как у большинства людей центр речи находится в левом полушарии, то в том случае, когда

инсульт происходит с левой стороны, вместе с утратой способности к движению в правой половине тела обычно возникает потеря речи.

Закупорка сосудов, приводящая к инфаркту или инсульту, необязательно связана с холестериновыми бляшками. Часто причиной этих заболеваний является тромб, т. е. сгусток свернувшейся крови, который обычно образуется в венах, чаще всего в венах ног. Вы знаете, что при разрыве стенок кровеносных сосудов вытекающая кровь быстро свёртывается, образуя тромб, который препятствует дальнейшей кровопотере. Биохимическая система, вызывающая свёртывание крови, очень сложна, и иногда в ней могут происходить нарушения. В этом случае тромб может образоваться в неповреждённом сосуде. Если такой тромб оторвётся, то он может проникнуть с током крови в сосуд сердца или мозга и закупорить его.

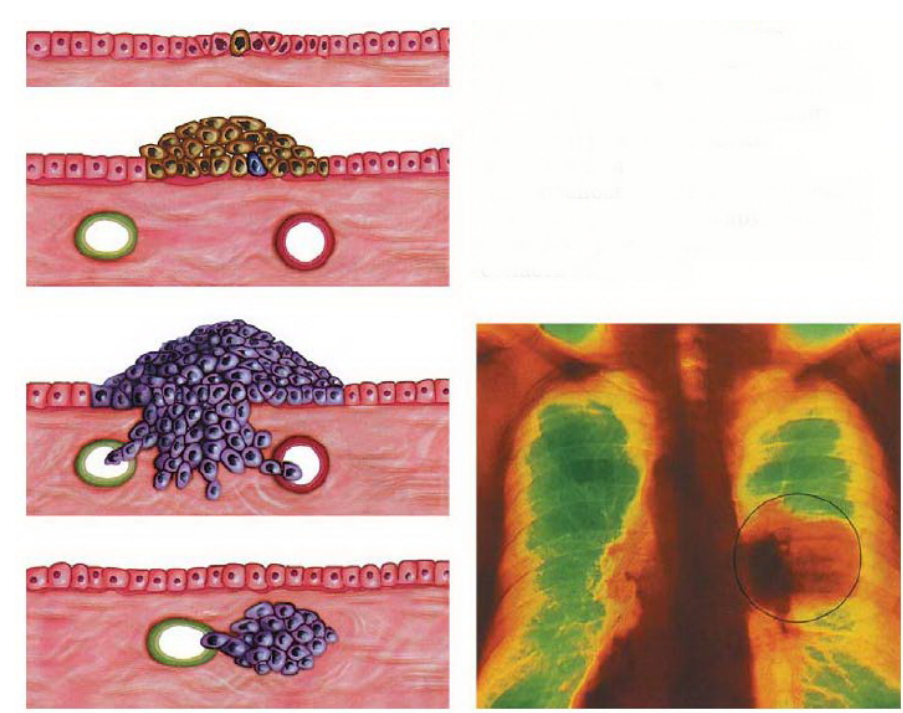


Рис. 188. Онкологические заболевания – одна из основных причин смерти в настоящее время. А – распространение раковой опухоли: раковые клетки из первичного очага болезни по кровеносным и лимфатическим сосудам проникают в другие части тела; Б – рак лёгких (поражённая область выделена)

Для того чтобы снизить риск заболевания сердечно-сосудистой системы, требуется вести активный образ жизни с

достаточными, но не чрезмерными физическими нагрузками, уменьшить употребление в пищу солёных и жирных продуктов, отказаться от курения и употребления алкоголя.

Онкологические заболевания. Ещё одной группой тяжёлых болезней, часто заканчивающихся смертью больного, являются *онкологические заболевания,* известные также как рак или злокачественные новообразования. Рак возникает вначале в одной-единственной клетке, которая в результате происходящих в ней сложных нарушений обретает способность к неограниченному делению. Образование раковых клеток в организме – нередкое явление, но обычно иммунная система такие клетки уничтожает. Однако если иммунная система ослаблена или раковых клеток образуется слишком много, они начинают быстро размножаться, уничтожая вокруг себя нормальные клетки (рис. 188). Превращению обычной клетки в злокачественную способствует целый ряд факторов, которые называют *канцерогенными* (от лат. «канцер» – рак, или, точнее, краб). Существуют физические канцерогены (ионизирующее излучение), химические канцерогены (асбест, компоненты табачного дыма, диоксины, формальдегид и многие другие), а также биологические канцерогены (вирусы, токсины некоторых бактерий, грибов).

Встречаются разные типы онкологических заболеваний, которые различаются характером и скоростью размножения клеток. В принципе рак может поражать любую часть тела, но чаще всего он возникает в лёгких, желудке, толстой кишке, печени и молочных железах. Часто раковые клетки из первичного очага болезни, где они образовались, с током крови или лимфы проникают в другие части тела (см. рис. 188). В результате образуются отдалённые вторичные очаги, которые называют ***метастазами.*** Именно они и являются, как правило, основной причиной смерти от рака.

Онкологические болезни до сих пор являются одними из самых опасных для человечества. Ежегодно в мире от рака умирает почти 10 млн человек, что составляет около 13 % всех смертей. Факторами риска заболевания раком являются употребление алкоголя и табака, сниженная физическая активность, ожирение, недостаточность употребления в пищу фруктов и овощей, а также загрязнение и задымление воздуха в городах и помещениях.

Для того чтобы обнаружить рак на ранних стадиях, когда он легче поддаётся лечению, необходимо при первом подозрении обратиться к врачу для проведения детального обследования.

Проверьте свои знания

1. Какую опасность представляет для человека гипертоническая болезнь?
2. Что такое коронарные сосуды и какое отношение они имеют к возникновению инфаркта миокарда?
3. В каком полушарии мозга должен произойти инсульт, чтобы проявилось нарушение речи, и почему?
4. Что такое тромб и какую опасность он представляет?
5. В чём состоит процесс образования раковой опухоли?
6. Назовите основные факторы риска для онкологических заболеваний.

Задания

1. Используя дополнительную литературу и ресурсы Интернета, выясните, что является источниками таких канцерогенов, как диоксины, бензопирены, нитриты, бензол.
2. Сделайте листовку «Меры профилактики сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний».

§ 61 Нервные и психические заболевания

«О боги, боги, за что вы наказываете меня?.. Да, нет сомнений, это она, опять она, непобедимая, ужасная болезнь… гемикрания, при которой болит полголовы… от неё нет средств, нет никакого спасения… попробую не двигать головой…»

……

Усталый врач поглядел на Рюхина и вяло ответил:

– Двигательное и речевое возбуждение… бредовые интерпретации… случай, по-видимому, сложный… Шизофрения, надо полагать.

Михаил Булгаков. Мастер и Маргарита

Нервные заболевания

Эти заболевания связаны с нарушением функций нервной системы: головного или спинного мозга, иногда периферических нервов. Нервные заболевания отличаются от психических тем, что не вызывают серьёзных расстройств психики. Они могут проявляться в виде болезненных ощущений, нарушений движений, нарушений сна, периодических обмороков и др. Среди нервных заболеваний наиболее часто встречаются ***головные боли,*** которые могут возникать в результате многих причин: поражения оболочек мозга, повышения внутричерепного давления, воспаления черепно-мозговых нервов, атеросклероза мозга и различных травм головы. Иногда головные боли могут возникать из-за нарушений функций внутренних органов, таких как печень или почки, и при недостатке кислорода в крови. Их причиной также может быть эмоциональное или физическое переутомление.

Особым видом головной боли является ***мигрень,*** что в переводе с французского означает «боль в половине головы» (рис. 189). Её иногда называют болезнью великих людей, так как

ею страдали такие выдающиеся люди, как Юлий Цезарь, Линней, Бетховен, Дарвин, Шопен, Чайковский и многие другие[20]. Мигрень обычно начинается с сонливости, утомляемости и раздражительности. Затем появляется боль в одной части головы, которая впоследствии может распространиться по всей голове. Приступы мигрени могут продолжаться больше суток и часто заканчиваются продолжительным глубоким сном. Особенностью мигрени является то, что на неё почти не влияют обычные обезболивающие препараты типа анальгина. Мигрень является довольно сложным заболеванием, и при повторяющихся приступах требуется тщательное медицинское обследование.

Среди нервных болезней нередко встречается ***атаксия,*** вызванная поражением лобных долей, мозжечка или спинного мозга.

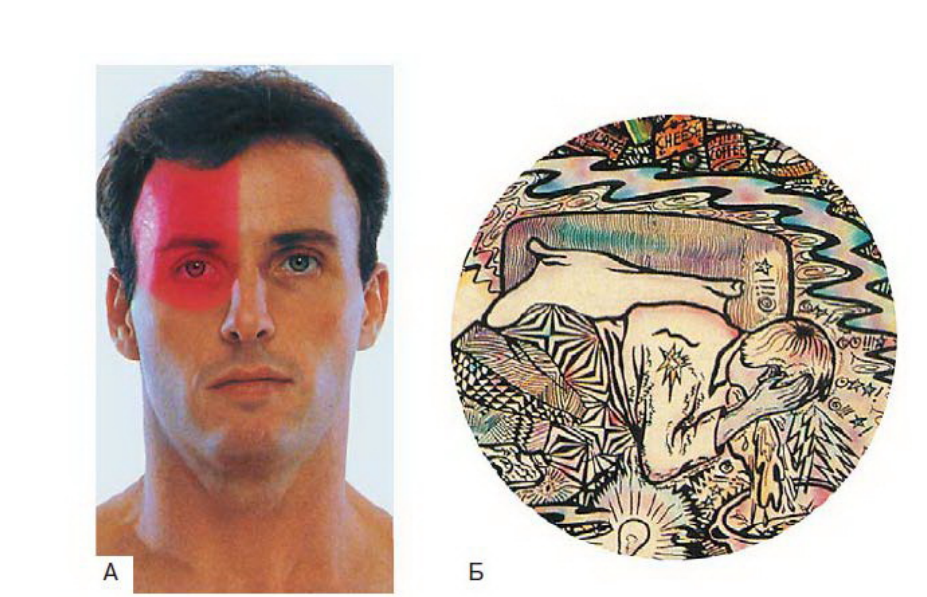


Рис. 189. Мигрень: А – помеченная красным цветом область головы указывает на обычную зону распространения боли при мигрени; Б – рисунок, созданный человеком, страдающим мигренью, – попытка передать ощущения, сопровождающие приступ

При атаксии человек не может стоять с закрытыми глазами, есть и писать из-за сильной дрожи в руках, часто заикается. К числу схожих с атаксией болезней относится *паркинсонизм,* или *болезнь Паркинсона,* при которой нарушается связь между средним и конечным мозгом. Болезнь Паркинсона обычно проявляется в виде перенапряжения или дрожания мышц.

Некоторые нервные заболевания возникают в результате инфекций. Например, существует болезнь, называемая ***рассеянным склерозом,*** которая начинается с ухудшения зрения. Впоследствии, иногда через несколько лет, появляется неустойчивость при ходьбе и головокружение. На поздних стадиях болезни может наступить слабоумие. Причиной рассеянного склероза является так называемая аутоиммунная реакция, когда собственные антитела организма разрушают изолирующую оболочку нервов и нарушают их проводимость. Эти нарушения иммунной системы вызываются проникающим в организм вирусом. По-видимому, существуют люди с повышенной чувствительностью к этому вирусу, так как заболевание рассеянным склерозом часто имеет наследственный характер.

К нервным заболеваниям относят также воспаления или другие повреждения периферических нервов, часто вызывающие сильную боль, судорожные приступы, не сопровождающиеся нарушениями психики, параличи, вызванные опухолями мозга, а также инсульт.

Психические заболевания

Психические заболевания сопровождаются изменением эмоционального состояния (депрессией или, наоборот, повышенной агрессивностью), потерей памяти, часто возникновением ложных воспоминаний и галлюцинациями. Главной причиной психических заболеваний являются нарушения, происходящие в системе медиаторов головного мозга. Из курса биологии вам известно, что передача нервного сигнала с одной клетки на другую сопровождается выбросом из нервного окончания определённого вещества, называемого медиатором. В головном мозге человека находится более десяти миллиардов нейронов, с каждым из которых могут контактировать тысячи окончаний, передающих сигналы от других клеток. При нормальной работе мозга все они выбрасывают медиаторы в нужном месте и в нужном количестве. Но при недостатке или избытке выброса какого-либо медиатора возникают психические расстройства.

Одним из основных медиаторов, имеющих прямое отношение к психическим заболеваниям, является *дофамин.* Он вырабатывается во многих отделах головного мозга и регулирует как двигательные[21], так и психические, главным образом эмоциональные, процессы. При недостатке в мозге дофамина, а также ещё нескольких близких к нему по строению медиаторов

развиваются ***депрессии***. Так называют психические расстройства, которые сопровождаются снижением настроения, пессимистическим взглядом на всё происходящее, снижением самооценки и двигательной заторможенностью. Напротив, повышенное содержание дофамина в мозге приводит к эйфории, повышенной активности. В некоторых случаях повышение содержания этого медиатора может вызвать тяжёлое психическое заболевание, называемое ***шизофренией.***

Шизофрения считается самым распространённым психическим заболеванием, полагают, что ею страдает около 0,5 % всего взрослого населения планеты, а в некоторых замкнутых областях – до 1 %. На самом деле это число может быть и большим, так как при слабой выраженности болезни больные не обращаются к врачу, а окружающие считают их лишь странными и чудаковатыми. Слово «шизофрения» происходит от слов «шизо» – «раскалывать» и «френ» – «мозг». Имеется в виду, что при этой болезни нарушается целостность личности. На самом деле шизофрения может протекать в различных формах: от полного ступора и нежелания вступать в любые контакты до появления бредовых идей, галлюцинаций и буйной агрессивности, которая может привести к серьёзным преступлениям. По причине такого разнообразия трудно установить все причины, благодаря которым может возникать шизофрения, но одной из этих причин, безусловно, является перепроизводство дофамина в мозге. Именно поэтому одними из самых эффективных лекарственных средств, применяемых для лечения шизофрении, являются блокаторы рецепторов дофамина в нервных клетках.

Распространённым нервно-психическим заболеванием также является ***эпилепсия*** (от греч. «схватывание»). Она проявляется в повторяющихся судорожных приступах, часто сопровождающихся изменениями личности. В древности эпилепсию называли «священной болезнью»: ею, так же как и мигренью, страдали многие выдающиеся люди, например Юлий Цезарь, Александр Македонский, Пётр Великий, Наполеон, Достоевский и Байрон. В настоящее время эпилепсия наблюдается у 2–4 % населения и часто проявляется в детском и юношеском возрасте. Заболевание может проявиться с самого рождения или первых дней жизни или развиться в результате черепно-мозговой травмы, нарушения мозгового кровообращения, опухолевых или инфекционных заболеваний.

Одна из причин эпилепсии – нарушение баланса возбуждающих и тормозных процессов в мозге. Торможение в нервной системе осуществляет главным образом медиатор,

который называют *гамма-аминомасляной кислотой* (ГАМК). Основным возбуждающим медиатором мозга является *глутаминовая кислота.*

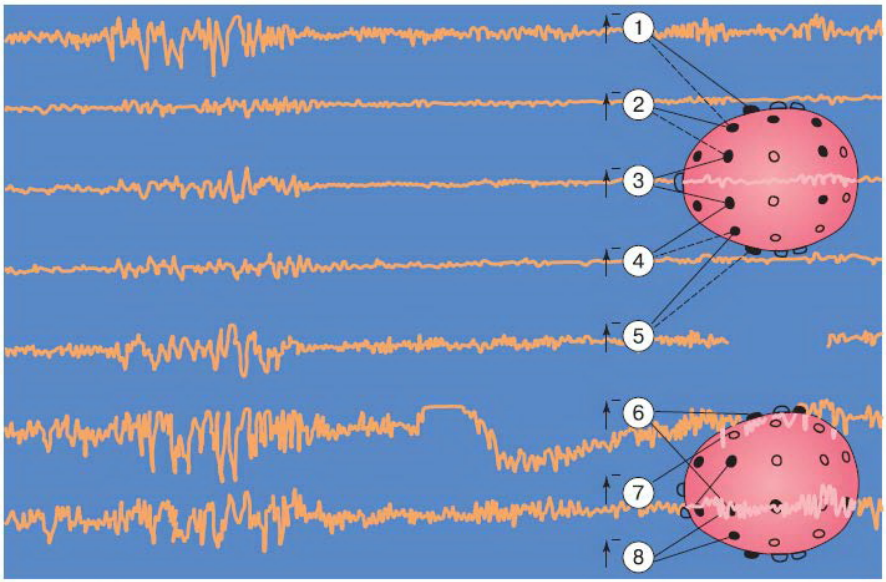


Рис. 190. Оранжевые кривые на данной электроэнцефалограмме отражают хаотичную электрическую активность мозга во время припадка эпилепсии. Разные кривые представляют собой запись сигналов, полученных с электродов, размещённых на разных точках головы

Уменьшение активности ГАМК и (или) увеличение активности глутаминовой кислоты может привести к развитию болезни. Иногда эпилепсия может протекать и без видимых судорожных проявлений, однако во всех случаях она сопровождается характерными изменениями электрической активности мозга, которые можно обнаружить на электроэнцефалограмме (рис. 190).

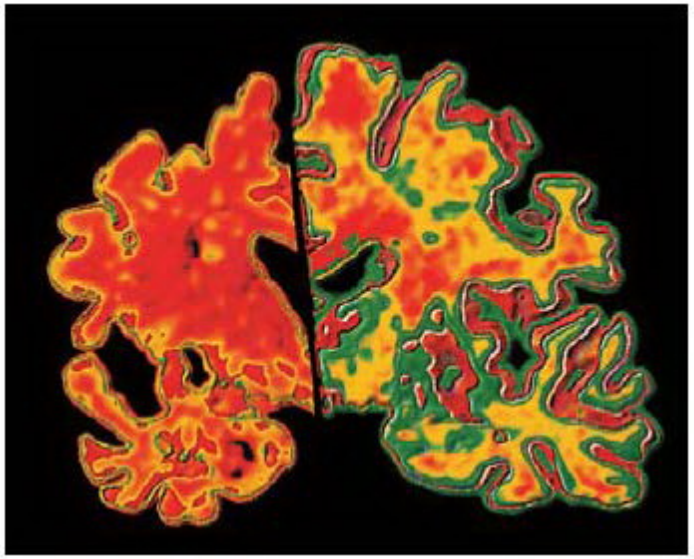


Рис. 191. Головной мозг: здорового человека(справа) и при болезни Альцгеймера (слева)

Ещё одним чрезвычайно распространённым, особенно у пожилых людей, психическим заболеванием является ***болезнь Альцгеймера*** (рис. 191). Обычно ею страдают люди в возрасте, превышающем 65 лет, но иногда она может проявиться и у более молодых. Эта болезнь – одна из основных причин старческого слабоумия. Причины её до сих пор точно не известны, но предполагают, что это связано с накоплением в мозге особого белка. Болезнь начинается с потери кратковременной памяти, развивается очень медленно, но, постепенно прогрессируя, разрушает мозг, что приводит к смерти. Заболеваемость болезнью Альцгеймера в мире увеличивается с каждым годом. Эффективных средств лечения этой болезни до сих пор не существует. Известно, что она в определённой степени обусловлена генетически, но снизить вероятность её возникновения можно. Для этого следует избегать факторов риска, которыми служат гиподинамия, ожирение, а также черепно-мозговые травмы и диабет.

Проверьте свои знания

1. Чем отличается мигрень от обычной головной боли?
2. Что является причиной рассеянного склероза?
3. Назовите основные признаки депрессии.
4. Каковы могут быть причины эпилепсии?

Задания

Объясните, в чём заключается принципиальная разница между нервными и психическими заболеваниями. Существуют ли заболевания, которые можно отнести к обеим группам? Приведите примеры.

§ 62 Лекарственные средства. Наркотическая зависимость

Нужно признать, что первый приём лечения по универсальности есть введение лекарственных веществ в человеческий организм.

И. П. Павлов

О том, что некоторые химические вещества способны утолять боль, давать облегчение и излечивать человека от различных болезней, человечество знало с самого начала своего существования. Правда, о существовании самих веществ тогда ещё не догадывались, а использовали для лечения различные растения, а иногда и животных. Используют их, как мы знаем, и до сих пор. Часто такие средства действительно способствуют выздоровлению, но не надо забывать, что вместе с лечебными веществами они могут содержать и вредные. Поэтому, когда мы слышим, что гораздо лучше и безопаснее лечиться природными средствами, а не «химией», полезно вспомнить, что наши не знавшие «химии» предки жили раза в три меньше, чем наши современники. Само собой разумеется, что синтезированные в лаборатории чистые химические препараты, формула и механизм действия которых хорошо известны, всегда будут эффективнее любых настоев на листьях, корнях и желчи дикого вепря. Попытки полностью заменить аптечные лекарства натуральными «народными» средствами обычно кончаются плохо.

Первые синтетические лекарства появились в XIX в. Оказалось, что основной компонент взрывчатого вещества динамита *нитроглицерин* может служить очень эффективным средством против стенокардии, а аминофеназон, известный под названием *амидопирин* и *ацетилсалициловая кислота (аспирин),* обладает мощным болеутоляющим, жаропонижающим и противовоспалительным действием.

Вспомним, что главным врагом человека вплоть до середины прошлого века были инфекционные болезни. Конечно, введение вакцинации несколько улучшило положение, но лечение людей, уже заболевших, причём пустячными по нашему времени болезнями, представлялось серьёзной проблемой. Коренным образом решить эту проблему помогло открытие двух классов высокоэффективных антибактериальных средств – антибиотиков и сульфаниламидных препаратов.

Антибиотики

Открытием антибиотиков человечество обязано британскому микробиологу Александру Флемингу (1881–1955), а точнее беспорядку, царившему в его лаборатории, где всегда валялись горы немытой посуды с культурами бактерий (рис. 192). В 1928 г., рассматривая одну из чашек, где выращивались бактерии, Флеминг обратил внимание на то, что в ней выросла колония плесневых грибов, вокруг которой исчезли все бактерии. Флемингу удалось выделить из плесени активное вещество, убивающее бактерий, которое он назвал *пенициллином.* Очистка пенициллина и создание из него лекарственного препарата потребовали довольно длительного времени, но к середине XX в. пенициллин вошёл в медицинскую практику как победитель сифилиса, гангрены, туберкулёза и ещё многих, прежде неизлечимых болезней. Особенно большую роль пенициллин сыграл в годы Второй мировой войны. Вскоре были открыты новые антибиотики, и в результате бывшие смертельные болезни стали считать довольно безобидными заболеваниями (рис. 193). Надо, однако, иметь в виду, что все антибиотики являются очень активными препаратами, способными оказывать вредное влияние на организм человека. Само слово «антибиотики» означает «против жизни». И хотя, конечно, имеется в виду жизнь микробов, к человеческой жизни это тоже имеет некоторое отношение. Поэтому принимать эти лекарства можно только при острой необходимости и по рекомендации врача. Вообще, любые лекарства кроме основного действия имеют и побочные эффекты.

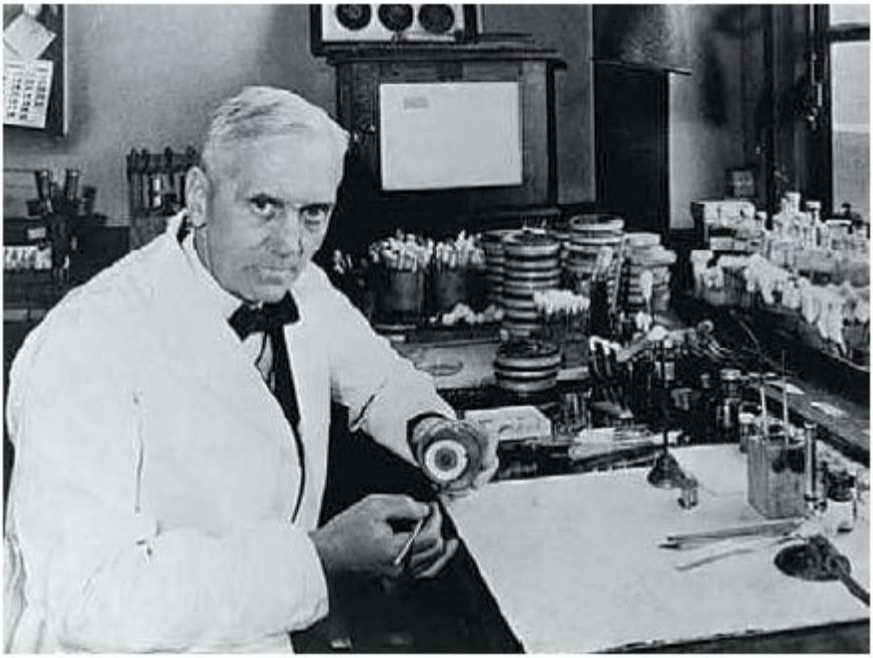


Рис. 192. Александр Флеминг и его лаборатория

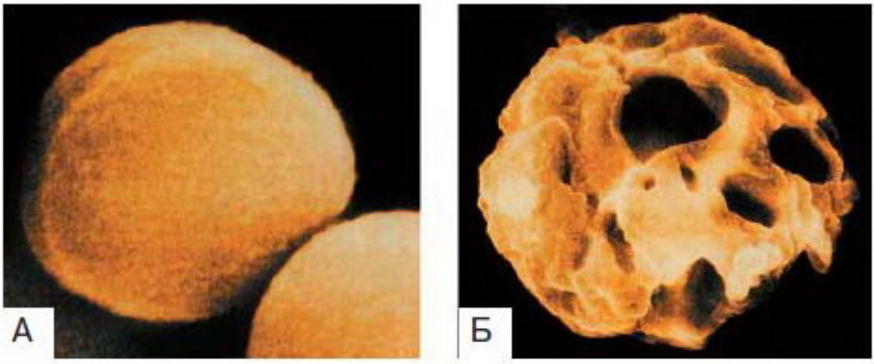


Рис. 193. Бактериальная клетка до воздействия на неё антибиотика (А) и после (Б)

Поэтому перед началом их приёма надо обязательно посоветоваться с врачом и ознакомиться с приложенной к лекарству инструкцией.

Сульфаниламидные препараты

Среди сульфаниламидных препаратов первым было открыто

соединение, впоследствии получившее название *стрептоцид*. Впервые оно было синтезировано в 1908 г., но только к середине 30-х гг. XX в. стало известно о его лекарственных свойствах. Стрептоцид и родственные ему препараты оказались незаменимыми для лечения пневмонии, простудных заболеваний, антисептики и заживления ран.

Нейролептики

Ещё один переворот в лечении многих болезней связан с открытием психотропных препаратов, т. е. средств, влияющих на психическое состояние человека. Прорыв в психиатрии произошёл в начале 50-х гг. XX в., когда американский психиатр Фрэнк Айд стал применять вещество, называемое хлорпромазином или аминазином, в качестве успокаивающего средства и вскоре получил разрешение на использование этого препарата против шизофрении. Хлорпромазин был первым в истории *антипсихотиком,* и его продолжают использовать до сих пор, несмотря на создание огромного числа препаратов, обладающих схожим действием. Эти препараты носят общее название *нейролептиков,* а механизм их действия направлен главным образом на блокаду рецепторов дофамина. Лекарства такого типа используют при шизофрении и других психозах и неврозах, они влияют на эмоциональную сферу и препятствуют возникновению бреда, галлюцинаций, снимают страх и тревогу, уменьшают двигательную активность и реакцию на внешние воздействия.

Транквилизаторы

Другим классом психотропных средств, широко используемых в наше время, являются *транквилизаторы* – препараты, которые оказывают успокаивающее действие, препятствуя возникновению состояния тревожности и беспричинных страхов, служат снотворными и противосудорожными средствами. Транквилизаторы усиливают активность главного тормозного медиатора мозга – ГАМК.

Наконец, важную роль среди психотропных препаратов играют *антидепрессанты.* Депрессивные состояния в настоящее время распространены практически по всему миру и часто служат причиной недееспособности человека и даже нередко приводят к самоубийствам. Выше мы уже говорили, что основной причиной

депрессий является недостаточная активность в мозге дофамина и близких к нему медиаторов. Поэтому действие антидепрессантов направлено на снижение скорости разрушения этих веществ и увеличение их содержания в центральной нервной системе.

Анальгетики

Ещё одной медицинской проблемой, которую можно решить при помощи лекарственных средств, является боль. Препараты, снимающие или ослабляющие болевые ощущения, называют *анальгетиками.* С древности известно много анальгетических веществ – от природных до синтетических. Среди них есть так называемые местные анальгетики типа новокаина, которые препятствуют возникновению нервного возбуждения в поражённом участке тела и тем самым блокируют проведение болевых ощущений, а есть анальгетики центрального действия, блокирующие центры головного мозга, которые воспринимают чувство боли. Анальгетики центрального действия постоянно присутствуют в нервной системе. Они тормозят проведение болевых импульсов, ослабляя тем самым болевые ощущения. Без них человек мог бы чувствовать боль даже при слабом прикосновении к его телу. Кроме того, эти вещества служат «системой внутреннего подкрепления», т. е. выделяются в тех случаях, когда обстановка благоприятна, и дают нам знать, что всё обстоит хорошо. Как и положено любым медиаторам, эти вещества действуют через специфические рецепторы. Но оказывается, что на те же рецепторы могут действовать вещества, имеющие совершенно иное химическое строение и содержащиеся в снотворном маке. Эти вещества – опиаты – представляют собой смесь различных соединений, самым активным из которых является морфин. Попав в мозг, опиаты разрушаются там гораздо медленнее, чем природные соединения, и оказывают значительно более сильное и продолжительное действие. Морфин и его производные находят широкое применение при лечении заболеваний, сопровождающихся сильными болями. Однако, выйдя за двери больниц, морфин сделался крайне опасным, породив одну из самых тяжёлых форм наркомании.

Наркотическая зависимость

Сначала морфин вызывает наркотическое опьянение и

эйфорию, сопровождающиеся бредом, галлюцинациями и дезориентацией личности. Это состояние быстро проходит, сменяясь расслабленностью и сонливостью (отсюда и название растения – снотворный мак). Вскоре возникает непреодолимое желание снова получить дозу наркотика. Это состояние называют абстиненцией. После ряда таких повторов, а иногда и после первой попытки развивается наркотическая зависимость.

Причиной зависимости является то, что рецепторы перестают реагировать на природные, вырабатываемые мозгом, вещества – им требуется более мощная стимуляция. Поэтому при отказе от приёма препарата больной ощущает подавленность и депрессию, сопровождающиеся сильной болью во всём теле, так как природная обезболивающая система перестаёт работать. Помимо морфина и наиболее опасного его производного – героина, существуют и другие соединения, вызывающие схожее действие и зависимость. Самым распространённым и доступным веществом, которое можно причислить к этой группе, является этиловый спирт (алкоголь). Молекула этого вещества по строению не похожа ни на один медиатор, однако известно, что он может действовать как на рецепторы дофамина, вызывая эйфорическое возбуждение, так и на рецепторы ГАМК, оказывая снотворный эффект. Хотя алкоголь является менее активным наркотиком по сравнению с морфином, его длительное употребление также может привести к возникновению наркотической зависимости – алкоголизму.

Рис. 194. Печень здорового человека (А) и больного алкоголизмом (Б)

Симптомы алкоголизма схожи с симптомами морфийной зависимости, при отказе от его употребления возникает абстиненция.

Часто человек не может выдерживать состояние абстиненции и добровольно отказаться от приёма алкоголя. Алкоголизм становится болезнью, которая требует квалифицированного медицинского вмешательства. Помимо наркотического эффекта,

алкоголь оказывает и другие патогенные влияния на организм. В первую очередь страдает печень. Именно в ней алкоголь перерабатывается, образуя ряд промежуточных соединений. Чрезмерная нагрузка на печень приводит к перерождению её тканей, часто заканчивающемуся гибелью этого органа (рис. 194).

Ещё одним распространённым психостимулятором, по типу действия напоминающим наркотики, является табак. Главным действующим веществом, содержащимся в табачном дыме, служит никотин, который активирует рецепторы вегетативной нервной системы. При повышенном содержании никотина в организме происходит сужение кровеносных сосудов, которое может привести к атеросклерозу, образованию тромбов и нарушению кровообращения в сердце, мозге и конечностях, что увеличивает вероятность инфаркта и инсульта. Кроме того, табачный дым содержит смолы, которые являются канцерогенами. Поэтому курение часто приводит к онкологическим заболеваниям, особенно часто при этом страдают лёгкие (рис. 195). Курение табака также может приводить к возникновению зависимости, однако эта зависимость чаще всего носит характер психологического пристрастия, и при достаточной силе воли можно отказаться от курения без помощи врача.

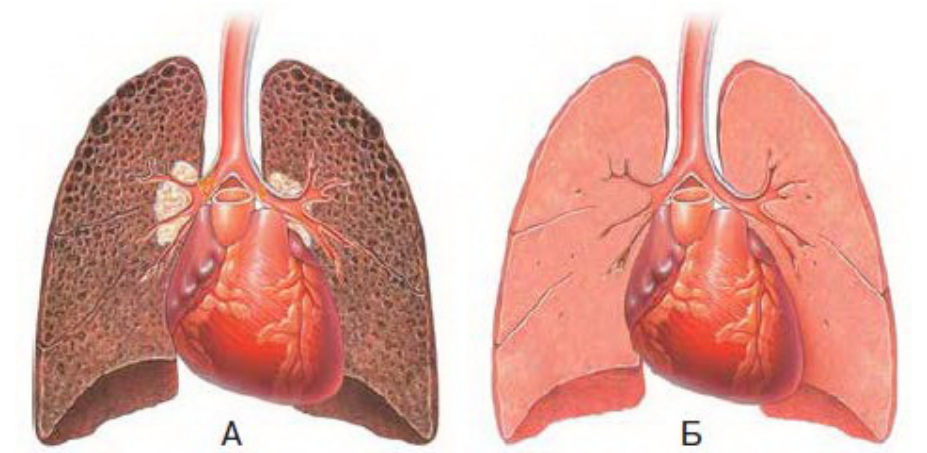


Рис. 195. Лёгкие курильщика (А) и здорового человека (Б)

Проверьте свои знания

1. Когда и как произошло открытие антибиотиков?
2. При каких заболеваниях обычно применяют нейролептики?
3. На какие функции организма направлено действие

транквилизаторов?

4. С какой целью морфин применяют в медицинских учреждениях?

5. Как возникает наркотическая зависимость?

6. Какие вредные последствия могут иметь употребление этилового спирта и курение табака?

Задания

Создайте листовки, направленные на борьбу с курением, употреблением алкоголя и наркотиков. Организуйте выставку этих листовок в школе.

§ 63 Яды, токсины и противоядия

Мой мирный час твой дядя подстерёг
С проклятым соком белены в сосуде
И тихо мне в преддверия ушей
Влил прокажающий настой, чьё свойство
Так глубоко враждебно нашей крови,
Что быстрый, словно ртуть, он проникает
В природные врата и ходы тела.

Уильям Шекспир. Гамлет

Вредные для организма вещества называют *ядами,* хотя провести точную границу между ядом и не ядом часто бывает довольно трудно. Практически любое вещество при использовании его в чрезмерных дозах может быть ядом, а очевидные яды в малых дозах часто используют как лекарства. Вот самый простой пример. Этиловый спирт, безусловно, является ядом, так как способен принести значительный вред организму. Но существует также и его аналог – метиловый спирт, который обладает гораздо большим отравляющим действием – уже 100–150 г этого вещества могут вызвать полную слепоту и смерть. Но поскольку оба спирта в организме конкурируют за одни и те же ферменты, этиловый спирт оказывается противоядием при отравлении человека его метиловым аналогом.

Науку, изучающую яды, механизмы их действия и способы борьбы с отравлениями, называют *токсикологией.* Название это происходит от слова «токсин», что означает примерно то же, что и яд, однако в настоящее время токсинами называют яды растительного и животного происхождения, которые по своей химической природе являются белками или пептидами.

Механизмы действия ядов

Действие ядов может быть направлено на какую-то определённую систему организма, а может быть универсальным. Примером такого универсального яда является цианистый калий, поражающий дыхательные ферменты всех клеток организма.

В противоположном случае яд действует только на определённые рецепторы каких-либо медиаторов, угнетая или усиливая их активность. Например, тубокурарин, известный как кураре, которым индейцы смазывают наконечники своих стрел, блокирует передачу нервных импульсов на скелетные мышцы. В результате наступает полное обездвижение, и жертва погибает, потому что перестают сокращаться дыхательные мышцы. Если в период действия этого яда применять искусственное дыхание, то человек через некоторое время вернётся в нормальное состояние без каких-либо вредных последствий. Этот токсин часто используется при сложных операциях, чтобы избежать непроизвольных движений, которые могут привести к роковым последствиям.

Яды, блокирующие тормозные медиаторы, приводят к развитию судорожных приступов. Так, основным тормозным медиатором в спинном мозге служит аминокислота глицин. Яд растительного происхождения – стрихнин – действует на те же рецепторы нервных клеток, что и глицин. Поэтому введение стрихнина вызывает судорожные движения туловища, шеи и лица, а при больших дозах приводит к смерти. Такие же, только более сильные судороги вызывают блокаторы главного тормозного медиатора головного мозга, например, гамма-аминомасляная кислота (ГАМК). Но не следует забывать, что большинство ядов в малых дозах могут быть использованы как лекарственные средства. Так, например, стрихнин применяют в случаях передозировки снотворных и успокаивающих средств.

Ядовитые вещества содержатся в очень многих растениях. Вспомните стихотворение Пушкина «Анчар». Современники Пушкина знали, что жители Юго-Восточной Азии используют сок дерева анчар для того, чтобы смазывать им наконечники стрел, точно так же как американские индейцы – кураре. Конечно, ни формула, ни механизм действия этого яда тогда известны не были. Теперь мы знаем, что действующим веществом, содержащимся в соке этого дерева, является *антиарин,* вызывающий почти мгновенную остановку сердца. Для того чтобы раненая обезьяна погибла в течение двух-трёх минут, требуется менее 1 г этого яда.

Ядовитые растения

Среди растений наибольшее число ядовитых видов принадлежат к семействам паслёновых и зонтичных (рис. 196).

Рис. 196. Ядовитые растения (А – белена чёрная; Б – вех ядовитый; В – дурман обыкновенный), грибы (Г – поганка бледная; Д – сатанинский гриб; Е – опёнок ложный), животные (Ж – кобра королевская; З – иглобрюх (рыба фугу); И – лягушка пятнистая ядовитая)

К первому из них относятся помидоры, картофель, баклажаны, болгарский перец и другие растения, без которых трудно представить себе сегодняшний стол. Но многие растения этого семейства содержат сильные яды. Отец принца Гамлета был отравлен соком *белены,* содержащим, так же как и её близкая родственница *белладонна,* очень сильный яд *атропин.* Сейчас он приносит большую пользу в медицине, но в древности был известен как яд, вызывающий сильное психическое возбуждение, откуда и происходит поговорка: «Ты что, белены объелся?» К этому же семейству относится табак, содержащий никотин. А как же всеобщая любимица картошка? Мы без всякого для себя вреда

употребляем в пищу её клубни, а вот наши неосведомлённые предки пробовали питаться её ягодами, содержащими очень ядовитое вещество *соланин.* Многочисленные отравления вызвали во многих странах «картофельные бунты» и дали название этому растению – слово «картофель» происходит от немецкого «чёртов плод».

Семейство зонтичных содержит около 3,5 тыс. видов, из которых многие (морковь, кориандр, тмин, анис и др.) широко используются в пищевых целях. Однако в этом семействе тоже есть много ядовитых растений. Одним из них по приговору суда был отравлен великий греческий философ Сократ.

Ядовитые грибы

Про ядовитые грибы знают все. На самом деле ядовитых грибов не так уж много, а смертельно ядовитые среди них встречаются совсем редко. Из грибов, встречающихся в средних широтах, наиболее опасной является *бледная поганка,* отравление которой более чем в половине случаев заканчивается смертью от паралича мышц (см. рис. 196). Этот гриб содержит целый ряд смертельно опасных токсинов, которые не разрушаются ни при сушке, ни при термической обработке. Бледную поганку часто путают с шампиньоном, хотя на самом деле их легко различить: во-первых, пластинки под шляпкой шампиньона, в отличие от поганки, никогда не бывают белыми (они или розовые, или чёрные), а во-вторых, у основания ножки бледной поганки находится так называемая «чаша смерти» – характерное плёнчатое кольцо.

Ядовитые животные

Из всех животных наибольшую опасность для человека представляют ядовитые змеи (см. рис. 196). Хотя их не так уж много (около 10 % всех видов змей), вырабатываемые ими токсины иногда представляют огромную опасность. Наиболее ядовитыми змеями считаются кобра и эфа. Смертельной дозой яда кобры для человека считается 30 мг, а яда эфы – 15 мг. Распространённая в средних широтах обыкновенная гадюка гораздо менее опасна. Её укус очень редко приводит к смерти, чаще всего его последствия ограничиваются отёком, болью, жжением, подъёмом температуры, тошнотой и рвотой. Среди других позвоночных животных ядовитыми бывают некоторые

виды земноводных и рыб. Многие саламандры, жабы и лягушки содержат в выделяемой ими слизи яды, вызывающие психические расстройства, а иногда даже отравления со смертельным исходом. Так, некоторые виды тропических лягушек вырабатывают *батрахотоксин,* который полностью лишает нервные клетки способности к возбуждению. Из ядовитых рыб наиболее известна рыба фугу, или тетродонт. Её икра и половые железы содержат *тетродотоксин*, который в 10 раз более ядовит, чем кураре. В Японии эта рыба считается деликатесом, и желание отведать её так велико, что, несмотря на то что приготовляющие её повара проходят тщательную подготовку, она ежегодно становится виновницей многих смертей.

Множество ядовитых животных можно найти среди беспозвоночных. Это в первую очередь представители типа членистоногих. Например, ядовиты все пауки, однако опасность для человека представляют немногие. Одним из самых опасных является каракурт, обитающий в Центральной Азии и крымских степях. Укушенный каракуртом человек испытывает сильные мучительные боли и чувство страха. Если вовремя не оказать медицинскую помощь, может наступить смерть. Менее страшен тарантул, укус которого вызывает только воспаление. К паукообразным относится также скорпион, укус которого очень болезнен, сопровождается слабостью и судорогами, но к смерти приводит редко. Среди насекомых тоже есть много ядовитых видов (пчёлы, осы, шмели и др.), но для человека они большой опасности не представляют.

Подавляющее большинство кишечнополостных животных тоже способны вырабатывать токсины. Причём некоторые из них могут быть смертельно ядовитыми. Такова, например, морская оса – медуза, обитающая у берегов Австралии, чей яд по химическому составу аналогичен токсину кобры.

Противоядия, анатоксины и сыворотки

Далеко не для всякого яда можно подобрать противоядие. Если яд уже проник в организм, то противоядие действует тем надёжнее, чем быстрее им воспользоваться. Желательно, чтобы яд ещё не вышел за пределы желудка или только-только успел всосаться в кровь. Так, например, цианистый калий, связываясь с сахаром, образует прочное нетоксичное соединение. Поэтому при отравлении этим ядом можно спастись, если немедленно выпить большое количество сахарного сиропа. При покушении на Григория Распутина его сначала пытались отравить цианистым

калием, и проводивший приготовления доктор Лазаверт ввёл яд в пирожные с кремом. Отравители были очень удивлены, когда убедились, что яд никак не подействовал на Распутина. Они недостаточно были знакомы с химией и не знали, что ещё до того, как пирожные были съедены, яд превратился в нерастворимое и неядовитое соединение.

После того как яд уже распространился по организму, подобрать подходящее противоядие становится гораздо сложнее. Иногда удаётся использовать вещества, противоположные по своему биохимическому и физиологическому действию, которые блокируют действие яда. Существуют специальные методы для лечения отравления токсинами, которые вырабатывают змеи и другие животные. Токсины по своему химическому строению являются белками, а мы знаем, что попадание в организм чужеродного белка вызывает выработку разрушающих его антител. Поэтому можно профилактически ввести человеку ослабленную форму токсина для выработки у него иммунитета, так же как это делается при вакцинации. Такой ослабленный токсин называют *анатоксином.* Анатоксины используют и против токсинов, вырабатываемых бактериями, например дифтерийной палочкой.

Если заранее приготовить сыворотку, содержащую антитела против определённого токсина, а затем быстро ввести её пострадавшему человеку, то антитела разрушат токсин и человек будет спасён. Такие сыворотки используют, например, после укусов змей и скорпионов.

Однако надо знать, что самое лучшее противоядие – это профилактика, т. е. по возможности избегание контактов с продуктами или животными, которые могут содержать в себе яд.

Проверьте свои знания

1. Чем занимается наука токсикология?
2. Какой термин – «яд» или «токсин» – имеет более широкое значение? Объясните свою точку зрения.
3. Как действуют яды, вызывающие судороги?
4. Какие вам известны ядовитые растения, принадлежащие к семейству паслёновых?
5. Как отличить бледную поганку от шампиньона?
6. Что такое анатоксины? Сравните действие сыворотки и анатоксина. В чём их принципиальная разница?

Задания

1. Вместе с одноклассниками сделайте презентацию, стенд или стенную газету о ядовитых растениях, грибах и животных, встречающихся в вашей местности.

2. Подготовьте памятку «Правила сбора грибов».

§ 64 Генетика человека и наследственные заболевания

Знай: мы в забвение не канем,
Как в пропасть падающий камень,
Как пересохшая река.
Наследственность
бессмертной птицей
Влюблённым на плечи садится,
Зовёт в грядущие века.

Вадим Шефнер

Поскольку человек представляет собой типичный живой организм, к нему применимы все те принципы организации живых систем, о которых мы говорили, в том числе, конечно, законы генетики. Поэтому всё, что говорилось о хромосомах, генах и о механизмах наследственности, в полной мере применимо к человеку. Поэтому существует специальный раздел генетики, который изучает особенности наследования признаков у человека, в том числе и наследование различных заболеваний (медицинская генетика).

Однако человек является особенным объектом генетических исследований. К нему неприменим основной метод генетики – гибридологический, т. е. скрещивание особей с интересующими исследователя признаками и выбраковывание из популяции особей, его не интересующих. Нельзя использовать и искусственный мутагенез. Малочисленное, а порой единичное потомство затрудняет применение статистических методов в пределах одной семьи. Большая продолжительность жизни, сопоставимая с жизнью самого исследователя, и поздние сроки наступления половой зрелости тоже являются ограничивающими факторами для использования классических генетических методов.

Кроме того, при изучении генетики человека требуется принимать во внимание признаки, отсутствующие у других живых организмов, такие как тип речевого общения, математические или художественные способности. В связи с этим в настоящее время для изучения генетических особенностей человека

используют специальные методы.

Методы генетики человека

Рассмотрим более подробно основные методы генетики человека.

Цитогенетический метод. Цитогенетический метод позволяет изучать хромосомный набор человека в норме и при различных патологиях. Хромосомы окрашивают специальными красителями, а затем исследуют под микроскопом.

Близнецовый метод. Близнецовый метод основан на сравнении двух типов близнецов. *Однояйцевые,* или *монозиготные, близнецы,* как показывает само название, развиваются из одной оплодотворённой яйцеклетки (зиготы). На ранней стадии дробления возможно отделение делящихся клеток друг от друга и разделение зародыша на две части, каждая из которых начинает развиваться самостоятельно как отдельный организм. *Разнояйцевые,* или *дизиготные, близнецы* образуются при оплодотворении двух (а иногда и более) яйцеклеток и с самого начала развития представляют собой разные организмы.

С генетической точки зрения монозиготные близнецы полностью идентичны, у них 100 % генов одинаковые. Поэтому различия между монозиготными близнецами можно отнести только на счёт средовых влияний. Дизиготные близнецы так же близки, как обычные дети одних и тех же родителей (общими являются приблизительно 50 % генов). В отличие от монозиготных близнецов, дизиготные близнецы могут быть разнополыми.

Рис. 197. Символы, используемые для составления родословных

Оценивая внутрипарное сходство монозиготных и дизиготных близнецов, можно сделать вывод о том, *что* в первую очередь влияет на развитие конкретного признака – среда или генотип.

Близнецовый метод позволяет изучить закономерности

наследования признака, установить, обусловлено ли фенотипическое проявление признака действием только генотипа или признак развивается под влиянием факторов внешней среды.

Генеалогический метод. Генеалогический метод (метод родословных) состоит из двух последовательных этапов: составление родословной с её графическим изображением (генеалогического древа) (рис. 197) и анализ полученных данных. Этот метод позволяет определить характер наследования признака и прогнозировать появление признака (как нормального, так и патологического) в следующем поколении.

Популяционно-статистический метод. Этот метод позволяет оценить частоту встречаемости признака и генотипа в определённой популяции, изучить генетическую структуру популяции, вычислить, какой процент людей в популяции является носителем рецессивного гена, не проявляющегося в фенотипе.

Наследственные заболевания

У многих людей в течение жизни проявляются те или иные наследственные заболевания, связанные с нарушением структуры наследственного материала. Изучение природы подобных изменений, анализ закономерностей их наследования и распространения в популяциях человека – эти важнейшие задачи генетика человека решает в тесном сотрудничестве с медициной. Проблема здоровья людей и генетика тесно взаимосвязаны. Ежегодно в нашей стране рождается около 200 тыс. детей с наследственными заболеваниями, что сравнимо с численностью жителей областного центра.

Практически все болезни так или иначе связаны с наследственностью, однако надо различать заболевания, обусловленные исключительно генетическими факторами, и те, которые зависят как от генотипа человека, так и от влияния на него со стороны окружающей среды.

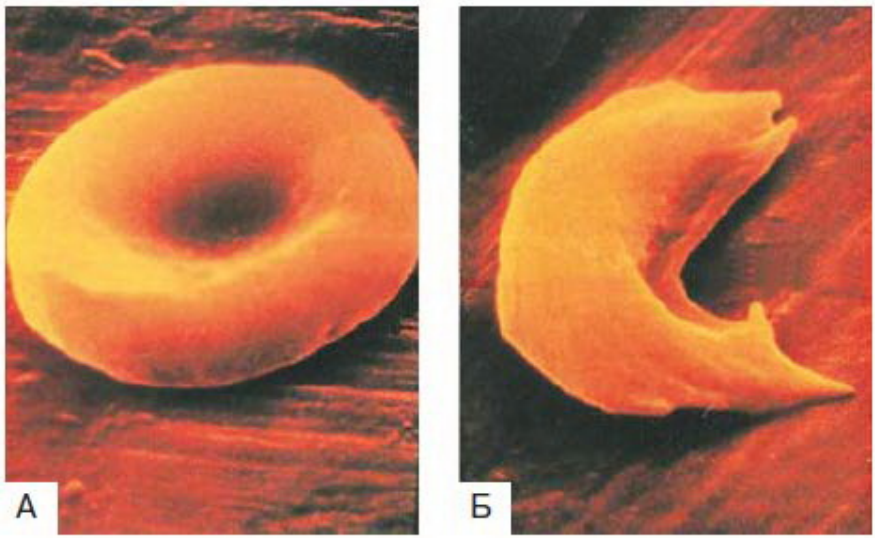


Рис. 198. Эритроциты нормальные (А) и изменённой формы (Б)

Генные болезни возникают в результате мутации в одном гене, что приводит к изменению структуры или количества белка. Как правило, эти заболевания ведут к нарушению обмена веществ. В зависимости от расположения мутантного гена выделяют болезни аутосомного и сцепленного с полом наследования.

Рассмотрим несколько наиболее часто встречающихся ***аутосомных болезней.*** *Фенилкетонурия* – рецессивное заболевание, которое возникает в результате мутации гена, расположенного в 12-й хромосоме, и приводит к накоплению в организме человека избытка аминокислоты – фенилаланина. При отсутствии строгой диеты, исключающей продукты, содержащие фенилаланин, у ребёнка может развиться умственная отсталость. К рецессивным болезням относится *альбинизм* – врождённое отсутствие пигментации кожи, волос и радужки глаз. Мутация, приводящая к изменению структуры молекулы гемоглобина, вызывает *серповидно-клеточную анемию* (рис. 198). В крови таких больных обнаруживаются эритроциты серповидной формы, не способные нормально переносить кислород.

Если гены, от которых зависят какие-либо, в том числе и патологические, признаки, находятся в неполовых хромосомах, эти признаки приобретаются независимо от того, кто был их носителем – мать или отец. Если же наследственность определяется генами, расположенными в половых хромосомах, то признак наследуется *сцепленно с полом.* В этом случае частота

встречаемости признака у мужчин и у женщин может отличаться. Примером заболеваний, которые наследуются сцепленно с полом, может служить одна из форм *гемофилии* – нарушение свёртываемости крови. В Х-хромосоме находится ген, определяющий свёртываемость крови. Его рецессивный аллель вызывает гемофилию (X*h*). Женщины, гетерозиготные по этому гену *(XHXh),* имеют нормальную свёртываемость крови. Рассмотрим, какие дети могут родиться у женщины – носительницы гена гемофилии *(XHXh),* вышедшей замуж за мужчину с генотипом *(XHY*) (рис. 199). Женщина передаст половине своих сыновей и дочерей Х-хромосому с геном гемофилии (*Xh*), а половине – Х-хромосому с доминантным геном (X*H*). В то же время все дочери получат от отца вторую Х-хромосому с геном нормальной свёртываемости (X*H*), поэтому у всех будет нормальное здоровье, но половина из них будут носительницами рецессивного гена, полученного от матери (1 *XHXH*: 1 *XHXh)*. Все сыновья получат от отца Y-хромосому, и половина из них будут гемофиликами (1 *XHY*: 1 X^hY).

Гемофилия стала хорошо известной благодаря английской королеве Виктории, которую называли «бабушкой Европы», поскольку среди европейских монархов и принцев было много её потомков, и значительная часть из них страдала этой болезнью. В их числе был и последний наследник российского престола цесаревич Алексей, мать которого, царица Александра, была внучкой Виктории, и её *X*-хромосома содержала мутантный ген гемофилии (рис. 200) Точно так же сцеплено с полом наследование дальтонизма – неспособность различать один или несколько цветов (рис. 201). Женщины могут быть дальтониками только в том случае, если они гомозиготны по мутантному гену дальтонизма, а такое случается очень редко. Поэтому дальтонизмом страдают от 2 до 8 % мужчин и только 0,4 % женщин.

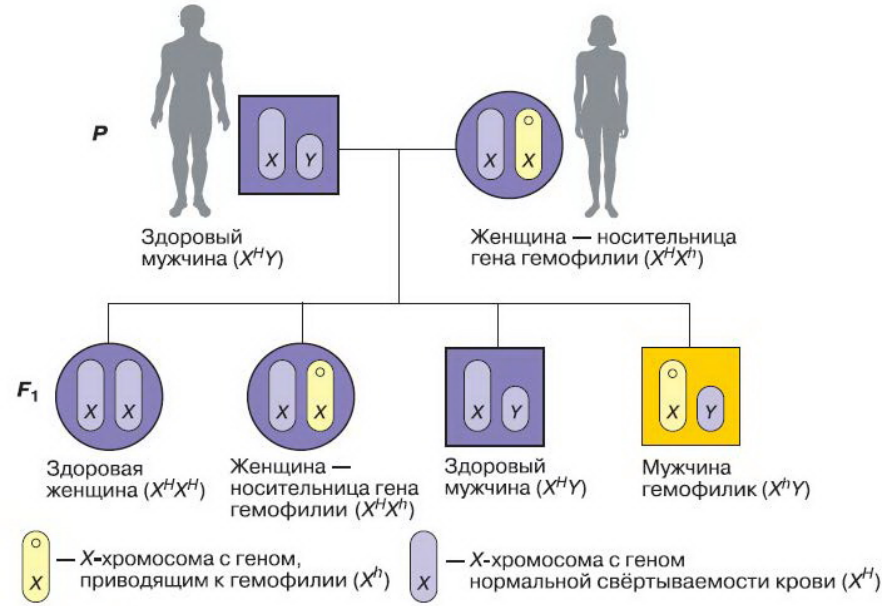


Рис. 199. Схема наследования гемофилии

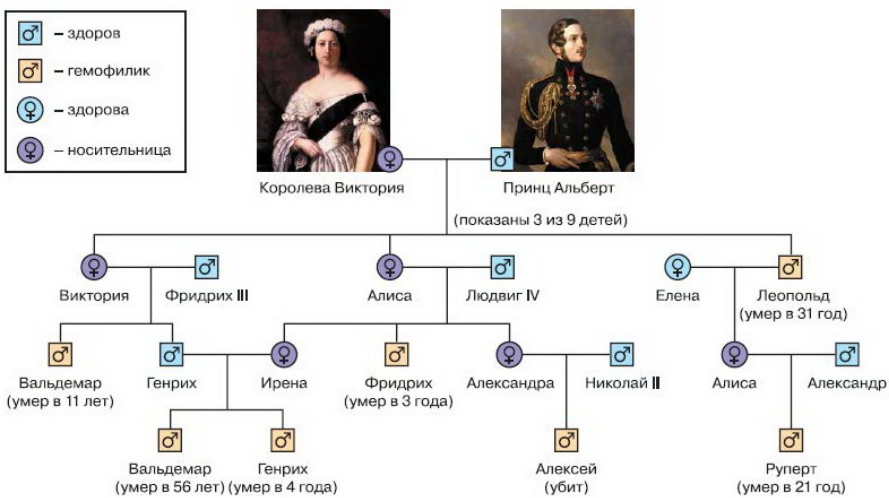


Рис. 200. Наследование гемофилии в царских домах Европы (показаны не все семьи и дети.

Если в организме человека изменяется число хромосом или нарушается их строение, развиваются *хромосомные болезни.*

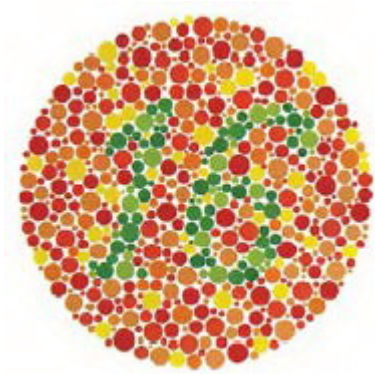


Рис. 201. Человек с нарушенным цветоощущением не увидит среди цветных точек число 16

Самым распространённым хромосомным заболеванием является болезнь Дауна – нарушение развития, которое возникает при появлении лишней 21-й хромосомы (рис. 202).

У таких людей общее число хромосом равно 47.

Существует большое число болезней, которые, хотя и обусловлены в какой-то мере наследственностью, необязательно проявляются у потомства. Наследственность в этих случаях только увеличивает вероятность заболевания той или иной болезнью. Такие болезни крайне многочисленны. К ним можно отнести шизофрению, онкологические и сердечно-сосудистые заболевания, диабет и др. То же можно сказать практически про любое инфекционное заболевание, поскольку степень риска заболеть при попадании в организм возбудителя зависит от иммунитета конкретного организма, а способность к выработке антител тоже в значительной мере зависит от наследственных факторов.

Профилактика наследственных заболеваний

В настоящее время профилактика, диагностика и лечение наследственных заболеваний приобретают очень большое значение.

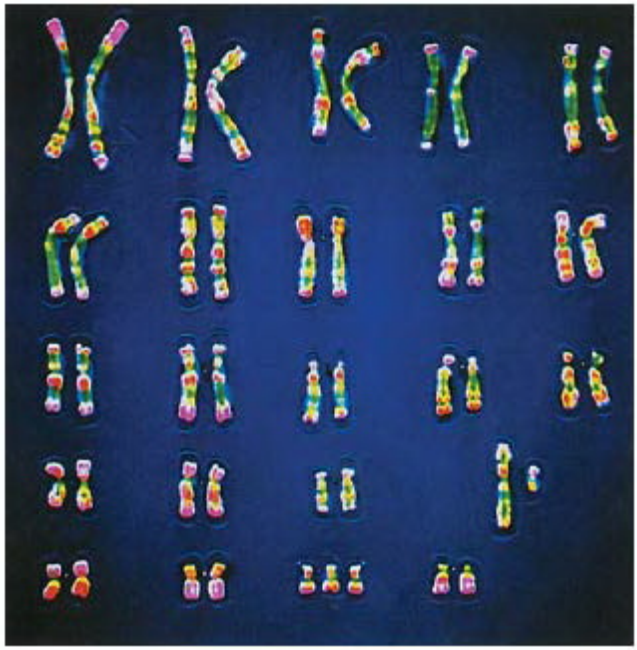


Рис. 202. Кариотип человека при синдроме Дауна

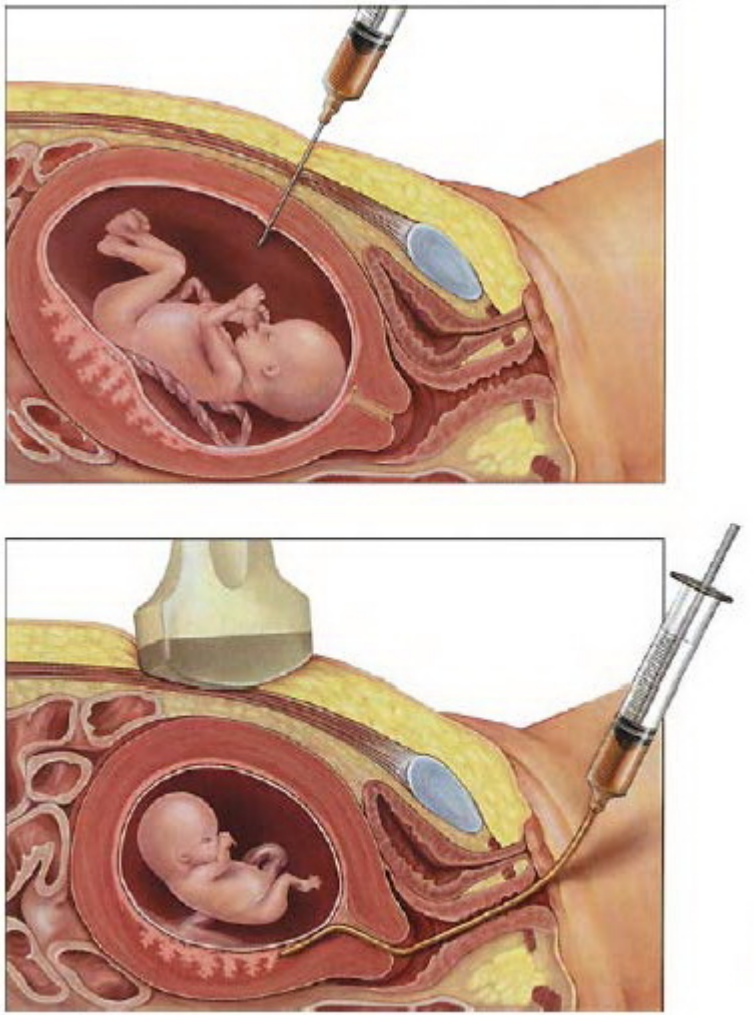


Рис. 203. Дородовая (пренатальная) диагностика

Наиболее эффективным методом профилактики является *здоровый образ жизни* будущих родителей. Надо избегать близкородственных браков и по возможности уменьшить контакты с мутагенными факторами.

Значительно снизить вероятность возникновения наследственных заболеваний позволяет *медико-генетическое консультирование.* Главная задача такого консультирования – прогнозирование рождения детей с наследственными нарушениями. За консультацией следует обязательно обратиться, если будущие родители работают на вредном предприятии или в семье есть родственники, имеющие наследственные заболевания. Если у супружеской пары уже родился ребёнок с наследственными нарушениями, необходимо сначала точно

поставить диагноз, а затем просчитать риск рождения второго больного ребёнка.

Эффективность консультирования значительно возрастает благодаря использованию современных *методов дородовой (пренатальной) диагностики.* Ультразвуковое обследование плода, взятие крови из пуповины и анализ околоплодной жидкости, в которой всегда есть клетки эмбриона и продукты его метаболизма, позволяют на ранних этапах беременности обнаружить наследственное заболевание (рис. 203).

Проверьте свои знания

1. Какие из методов, применяемых в генетике растений и животных, нельзя использовать в генетических исследованиях человека и почему?
2. Что такое наследственные заболевания? Каковы их причины?
3. Перечислите и охарактеризуйте методы, используемые генетикой человека. Согласны ли вы с утверждением, что диагностировать наследственное заболевание, используя один метод, чрезвычайно сложно? Объясните свою точку зрения.
4. К какому типу заболеваний относится болезнь Дауна?
5. Приведите примеры болезней, обусловленных как наследственностью, так и влиянием образа жизни.
6. Расскажите о мерах профилактики наследственных болезней.

Задания

1. Используя стандартные обозначения, составьте родословную своей семьи.
2. Используя дополнительные источники информации, подготовьте сообщение или создайте компьютерную презентацию о применении дерматоглифического метода в генетике человека.
3. Попробуйте объективно оценить свой образ жизни. Можете ли вы утверждать, что делаете всё возможное для того, чтобы ваши будущие дети родились здоровыми?
4. Оцените уровень информированности жителей вашего района о роли медико-генетического консультирования в формировании будущего здоровья нации. Обсудите результаты с одноклассниками, сделайте выводы и представьте их для ознакомления общественности.

Ваша будущая профессия

1. Найдите в Интернете названия нескольких профессий, связанных с материалом, представленным в данной главе, например врач– инфекционист, паразитолог и др. Подготовьте небольшое (не более 7—10 предложений) сообщение о той из них, которая вас наиболее впечатлила. Объясните свой выбор.

2. Что является предметом исследования науки геронтологии? Оцените, насколько развита эта наука в нашей стране. Есть ли в вашем регионе специалисты в этой области?

3. Как вы думаете, какими качествами должны обладать люди, работающие в области медико-генетического консультирования? Обоснуйте свою точку зрения.

Ноосфера и технические достижения человека

§ 65 Ноосфера и неолитическая революция

—…Если хочешь, чтобы у тебя был друг, приручи меня!

– А что для этого надо делать? – спросил Маленький принц.

– Надо запастись терпеньем, – ответил Лис. – Сперва сядь вон там, поодаль, на траву – вот так. Я буду на тебя искоса поглядывать, а ты молчи. Слова только мешают понимать друг друга. Но с каждым днём садись немножко ближе…

Назавтра Маленький принц вновь пришёл на то же место

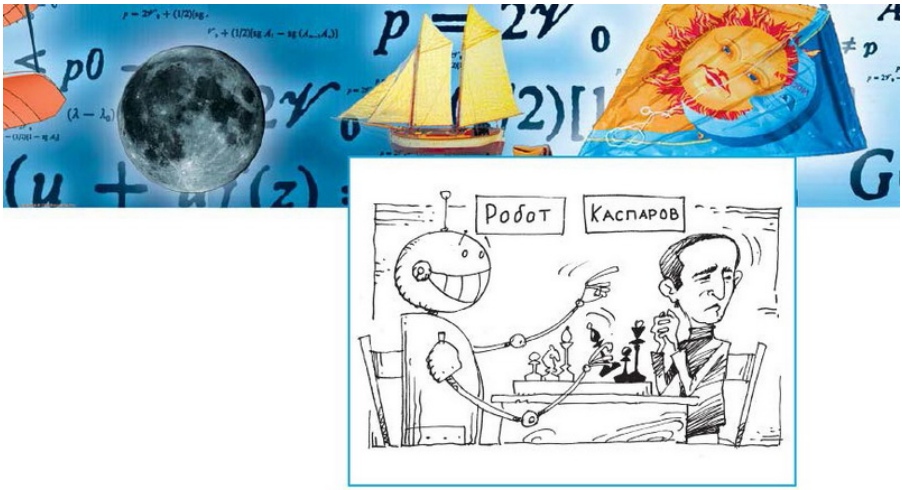
Антуан де Сент-Экзюпери

Ноосфера как сфера разума

В 1927 г. французский математик **Эдуард Леруа** (1870–1954) и его друг палеонтолог **Пьер Тейярде Шарден** (1881–1965) впервые ввели понятие «ноосфера». При этом они основывались на лекциях, которые в 20-х гг. XX в. читал в Сорбонне В. И. Вернадский. Слово «ноосфера» происходит от греческого слова «ноос», означающего «разум», другими словами, *ноосфера – это сфера разума, разумная оболочка Земли.* Представления Леруа и Тейяра были в значительной мере религиозно-философскими, а дальнейшее развитие этой идеи в трудах Вернадского получило конкретное естественно-научное содержание.

Идея ноосферы заключается в том, что с появлением на Земле человека закономерности развития биосферы стали меняться. Обладая разумом, человек создавал всё более совершенные орудия, в первую очередь для охоты, что коренным образом меняло окружающую его среду.

Хотя само понятие ноосферы появилось только в XX в., идея об особой роли человека, которую он играет в природе, была осознана много раньше.



Ещё в 80-х гг. XIX в. Фридрих Энгельс писал в своём труде «Диалектика природы»:

> *«…Животное только пользуется внешней природой и производит в ней изменения просто в силу своего присутствия; человек же вносимыми им изменениями заставляет её служить своим целям, господствует над ней. И это является последним существенным отличием человека от остальных животных, и этим отличием человек опять-таки обязан труду».*

Нельзя сказать, что животные не вносят своим существованием никаких изменений в окружающую их природу. Иногда эти изменения могут быть довольно существенными, например, опустошающие налёты саранчи или бабочки-шелкопряда, бобровые плотины или природные сукцессии. Но эти изменения не идут ни в какое сравнение с теми, которые вызывают деятельность человека. Причём эти глобальные изменения человек начал производить задолго до появления индустриализации и техногенной эры.

Ранние этапы развития человечества

Если австралопитеки и даже человек умелый с его рубилами ещё ничем принципиально не отличались от обычных хищников и трупоедов, то с появлением человека прямоходящего и тем более неандертальца и кроманьонца ситуация принципиально стала меняться. -

Рис. 204. Охота кроманьонцев (наскальные рисунки из пещеры в Испании)

Рис. 205. Наскальные рисунки древнего человека

Первые изменения были связаны с овладением огнём, появлением копий и стрел с каменными наконечниками. Важным новшеством стало создание копьеметалки, с помощью которой копья можно было метать в два раза дальше.

Кроме того, человек научился строить хитроумные ловушки для очень крупных животных. В периоды оледенения люди, обитавшие в тех областях, где водились мамонты, шерстистые носороги, большерогие олени и другие гигантские животные, научились охотиться на них (рис. 204, 205). Для этого они использовали самые варварские, по нашим понятиям, методы. Разговоры о том, что первобытные люди органически вписывались в окружающую природу, относились к ней крайне бережно и чувствовали себя её неотъемлемой частью – всего лишь трогательная легенда. Научившись коллективным методам охоты и изобретя для этого всевозможные ловчие ямы и западни, люди начали уничтожать вокруг себя всё живое, причём в таких количествах, что использовать всё добытое они, конечно, не могли. Животных целыми стадами загоняли к обрывам и топям.

На Ближнем Востоке и в Центральной Азии до сих пор сохранились остатки ловушек для антилоп и других животных, кочевавших по этим местам бесчисленными стадами. Ловушка представляла собой каменный мешок довольно сложной формы диаметром около 150 м. От мешка на несколько километров тянулись расходящиеся каменные, земляные или деревянные стенки. Охотники загоняли животных в проход между стенками, который сначала был очень широким, а потом постепенно сужался, пока все животные не оказывались в мешке. Понятно, что съесть всю добытую дичь одно племя не могло, поэтому подавляющее число её погибало, а затем сгнивало или доставалось трупоедам.

С появлением костров, каменных наконечников для стрел и копий, луков и первых ловушек началось воздействие человека на биосферу. Приёмы коллективной загонной охоты приводили к хищническому истреблению животных. У человечества вновь возникла проблема с пропитанием. Существует даже мнение, что над ним нависла угроза вымирания от голода. Проблема была решена путём неолитической революции.

Неолитическая революция

Раннюю историю человека принято разделять на две эпохи – *палеолит* (древний каменный век) и *неолит* (новый каменный век). Формально они различаются способом обработки каменных орудий: в палеолите их расщепляли и раскалывали, а в неолите научились шлифовать. Однако на рубеже палеолита произошло ещё одно важнейшее событие, которое назвали ***неолитической революцией***. Слово «революция» в данном случае не очень подходящее, поскольку оно подразумевает нечто кратковременное, в то время как неолитическая революция продолжалась в течение нескольких тысячелетий. Однако, учитывая миллионы лет эволюции человека, несколько тысяч из них вполне можно считать революцией. Суть этого процесса заключалась в одомашнивании животных и окультуривании растений. Люди догадались, что совершенно необязательно сразу убивать всех пойманных животных. Не нужно загонять многотысячное стадо в ловушку, обрекая его на быструю гибель. Вместо этого можно содержать животных в загонах, снабжая их пищей и позволяя производить потомство, убивая по мере надобности столько особей, сколько требуется в настоящий момент. То же самое относится и к съедобным растениям. Не надо съедать всё, что удалось добыть. Можно закопать часть

семян в землю, и тогда через некоторое время из них появятся новые растения. В первое время такие действия, вероятно, казались странными, но постепенно человечество осознало всю выгоду нового способа ведения хозяйства.

Неолитическая революция началась около 12 тыс. лет назад на Среднем Востоке и в Египте, а через 5–6 тыс. лет уже почти всё человечество освоило скотоводство и земледелие[22]. Интересно, что на Американском континенте, совершенно изолированном от Старого Света, неолитическая революция происходила в то же время. Так, уже 5–7 тыс. лет назад кукуруза стала культурным растением, а за ней последовали картофель, томат и многие другие растения, впоследствии завезённые в Европу. Однако, несмотря на успехи в культивировании растений, жителям Америки удалось одомашнить всего два вида животных – ламу и индюка.

Переход к земледелию и скотоводству закономерно привёл к коренному изменению человеческого образа жизни. Отпала необходимость в кочевьях, постоянном переселении в поисках продовольствия. Одомашненных животных необходимо было кормить и оберегать от хищников и соседей, растения нуждались в поливе и прополке. Всё это требовало объединённого труда многих людей, поэтому стали появляться довольно крупные поселения с долговечными постройками, а часто и с оборонительными стенами, в которых обитало множество семей. Избыток продовольствия позволил освободить некоторую часть общества от непосредственного участия в его производстве, в результате чего появились ремесленники, занимавшиеся строительством домов и помещений для хранения пищи, ткачи, гончары и другие «специалисты».

Неолитическая революция была зарёй ноосферы. Почувствовав новые возможности, человек стал развивать и стремиться удовлетворять свои потребности в самых разных сферах жизни, о чём будет рассказано впоследствии.

Проверьте свои знания

1. Что такое ноосфера и в чьих трудах впервые появилось это понятие?
2. Каково было отношение первобытного человека к окружающей природе?
3. В чём заключалась неолитическая революция? Когда и где она началась?
4. К каким социальным последствиям привёл переход к

скотоводству и земледелию?

§ 66 Селекция

Возникновение селекции. Искусственный отбор и гибридизация

Вскоре после того, как человек обзавёлся сельским хозяйством, он стал думать об улучшении домашних животных и культурных растений. Ему уже было недостаточно того, что возле его дома паслись коровы и куры, в поле росла пшеница, а в саду – яблони. Требовалось, чтобы коровы были большими и давали много молока, куры несли много яиц, зёрна пшеницы были крупными, а яблоки – не только крупными, но и сладкими. Возникла насущная необходимость улучшать качество культурных растений и домашних животных, т. е. заниматься селекцией. *Селекция* (от лат. «селектио» – отбор) – наука о создании новых и улучшении существующих сортов растений, пород животных и штаммов микроорганизмов. Одновременно под селекцией понимают и сам процесс создания сортов, пород и штаммов. Теоретической основой селекции является генетика.

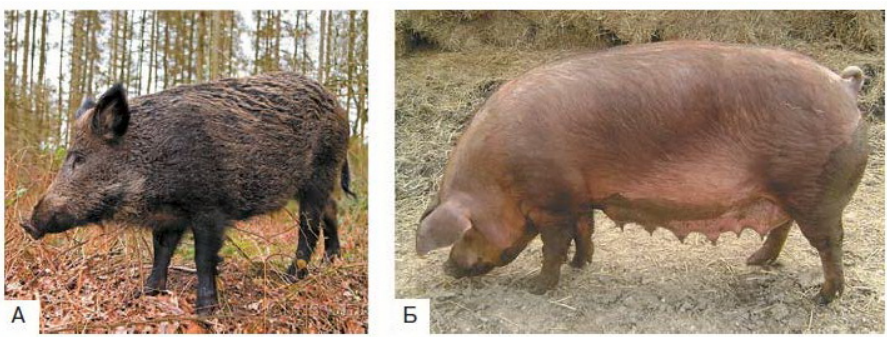


Рис. 206. Селекция животных: А – европейский кабан – представитель одного из видов, давшего начало породам домашних свиней; Б – чистопородная одомашненная свиноматка

На заре человеческой цивилизации начался процесс, который Дарвин впоследствии назвал ***искусственным отбором,*** выделив из него бессознательный и методический. В первом случае люди не ставят перед собой какой-либо конкретной цели, а просто отбирают лучших, на их взгляд, особей и стараются получить от них как можно больше потомства. Большого разнообразия пород и сортов при таком методе получить невозможно. Методический отбор осуществляется человеком по определённому плану с целью выведения новой породы или сорта, обладающих

определёнными качествами.

Одним из первых одомашненных животных был волк, приручённый в Азии более 10 тыс. лет назад. Вскоре были одомашнены и другие животные (табл. 5, рис. 206).

Таблица 5

Домашние животные и их дикие предки

Домашнее животное	Дикий предок	Где и сколько лет назад одомашнен
Собака	Волк	Азия, 10 тыс. лет
Кошка	Нубийская кошка	Египет, 4 тыс. лет
Крупный рогатый скот	Тур	Передняя Азия, 7 тыс. лет
Овца	Азиатский архар	Передняя Азия, 9 тыс. лет
Коза	Безоаровый козёл	Передняя Азия, 6 тыс. лет
Свинья	Кабан	Южная Азия, 6 тыс. лет
Лошадь	Тарпан	Центральная Азия, 5 тыс. лет
Курица	Банкивская курица	Индия, 3 тыс. лет
Гусь	Серый гусь	Южная Европа, 3 тыс. лет
Утка	Кряква	Греция, 3 тыс. лет

Параллельно происходило окультуривание растений. Каждое из ныне используемых культурных растений имеет свою историческую родину, где оно когда-то было дикорастущим. Выдающийся российский генетик, ботаник и географ Николай Иванович Вавилов (1887–1943) (рис. 207) в результате многочисленных экспедиций собрал со всего мира образцы местных дикорастущих растений и их культурных сортов и определил, где находятся центры происхождения культурных растений, в наше время повсеместно выращиваемых.

Рис. 207. Н. И. Вавилов

Выяснилось, что родиной кукурузы, картофеля, томата, какао и многих других культурных растений является Америка, родиной риса – Южная Азия, пшеницы, ржи, винограда, моркови – Юго-Западная Азия, капусты, маслин, свёклы – Средиземноморье и т. д. (рис. 208).

Методический отбор позволил уже в древности вывести довольно большое количество пород домашних животных и сортов растений (рис. 209). В Китае и Египте за несколько тысяч лет до нашей эры уже существовали несколько сортов пшеницы и ячменя и несколько пород лошадей и крупного рогатого скота. В период Средневековья методический отбор не пользовался популярностью и вторично возник в Европе в конце XVIII в. В настоящее время в мире насчитывают около 50 сортов томатов, 400 – пшеницы, 1000 – винограда, 10 тыс. – яблонь, а также около 150 пород лошадей, 400 – крупного рогатого скота и 350 – собак.

С давних времён, помимо собственно отбора особей с желаемыми признаками, применяли *гибридизацию.* Гибридизацией называют скрещивание различных организмов. Гибридизация может быть *близкородственной,* которая позволяет редким генам проявиться в гомозиготном состоянии и тем самым выявить скрытые рецессивные аллели, и *неродственной,* используемой для того, чтобы объединить в одном организме признаки различных сортов, пород, а иногда даже видов и родов.

Близкородственная гибридизация

Близкородственная гибридизация – ***инбридинг*** – переводит большинство рецессивных аллелей в гомозиготное состояние, из-за чего они начинают проявляться в фенотипе. Любой организм всегда содержит в своём генотипе рецессивные гены в скрытом состоянии *(Aa)*. Если среди них есть гены, снижающие жизнеспособность, то повторяющийся инбридинг, переводя эти гены в гомозиготное состояние, может привести к вырождению породы или сорта. Эта закономерность справедлива и для людей, практикующих близкородственные браки. Известно немало семей, которые заключали браки только с близкими родственниками, с каждым поколением увеличивая число наследственных болезней.

Рис. 208. Центры происхождения культурных растений (по Н. И. Вавилову)

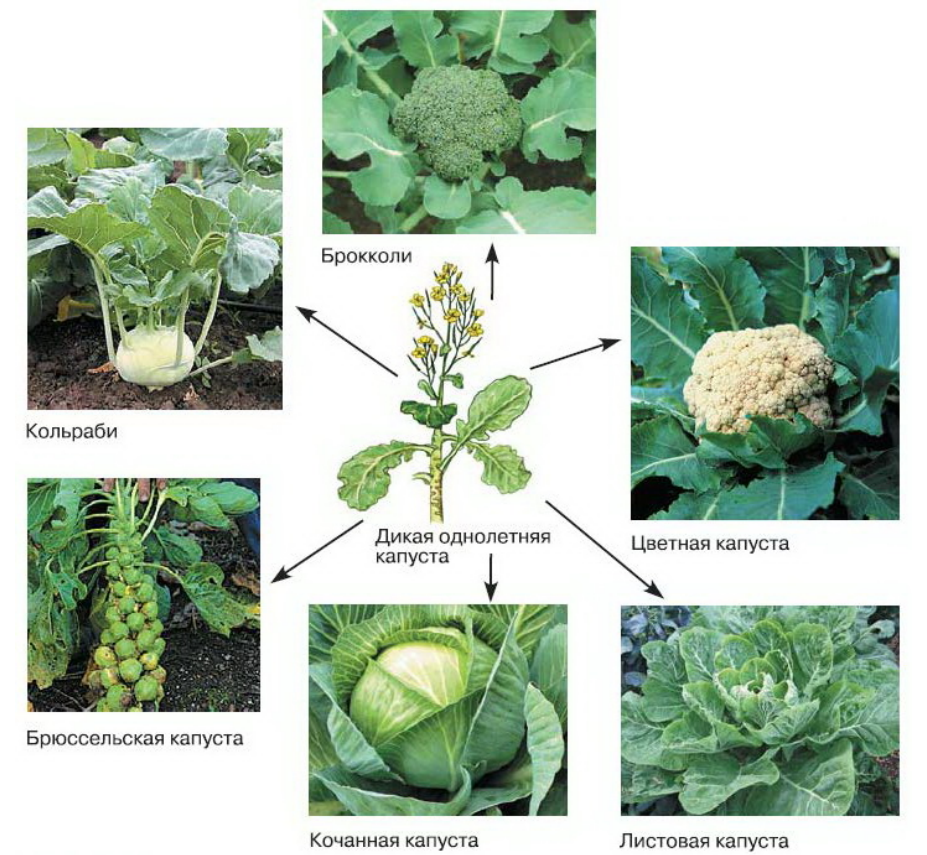


Рис. 209. Культурные разновидности капусты и их дикий предок

Так, например, выродилась и вымерла испанская королевская династия Габсбургов. Конечно, редкие рецессивные аллели могут оказаться и полезными, в этом случае проявление их в гомозиготной форме может увеличить жизнеспособность, выносливость или другие полезные качества их обладателя. Если такое случается, то селекционеры намеренно используют инбридинг в новой, выводимой ими породе, что позволяет сохранить обнаруженный оригинальный или полезный признак.

Неродственная гибридизация

Неродственную гибридизацию – ***аутбридинг*** – подразделяют на отдалённую и внутривидовую.

В основе ***внутривидовой гибридизации*** лежит направленное скрещивание особей, обладающих определёнными свойствами, с целью получения потомства с максимальным проявлением этих

качеств.

Рис. 214 Межвидовые гибриды у животных: А – хонорик (гибрид хорька и норки); Б – бестер (гибрид белуги и стерляди)

Например, один сорт растений обладает высокой продуктивностью, но легко заражается грибковыми болезнями, а другой, обладая высокой устойчивостью к заболеваниям, производит гораздо меньше семян. Скрещивая эти два сорта, в потомстве можно получить различные сочетания признаков, среди которых будут высокопродуктивные и одновременно устойчивые к заражению растения.

Отдалённая гибридизация заключается в скрещивании разных видов. В растениеводстве с помощью отдалённой гибридизации создана новая зерновая культура – тритикале (гибрид ржи с пшеницей).

Классическим примером межвидовых гибридов в животноводстве является мул, полученный при скрещивании осла с кобылицей, который значительно превосходит родителей по выносливости и работоспособности (рис. 210). В Казахстане методом межвидовой гибридизации диких горных баранов архаров с тонкорунными овцами была создана знаменитая архаромериносная порода овец.

Однако применение межвидовых скрещиваний имеет определённые сложности, потому что получаемые гибриды часто оказываются бесплодными (стерильными) или низкоплодовитыми. Сейчас существуют разные способы решения этой проблемы. В селекции растений способ получения плодовитых отдалённых гибридов методом полиплоидии впервые разработал известный российский учёный Георгий Дмитриевич Карпеченко (1899–1942).

При скрещивании разных пород животных или сортов растений, а также при межвидовых скрещиваниях в первом

поколении у гибридов повышается жизнеспособность и наблюдается мощное развитие. Явление превосходства гибридов по своим свойствам родительских форм получило название *гетерозиса* или *гибридной силы* (рис. 211).

Полиплоидия

Нередко в растениеводстве получают и полиплоидные растения, отличающиеся более крупными размерами, высокой урожайностью и более активным синтезом органических веществ. Широко распространены полиплоидные сорта клевера, сахарной свёклы, ржи, гречихи (рис. 212).

Искусственный мутагенез

К одному из современных направлений селекции относится ***искусственный мутагенез.***

Рис. 211. Пример гетерозиса у кукурузы

Рис. 212. Растения гречихи: А – диплоидное (*2n* = 16); Б – тетраплоидное(4n = 32)

Как известно, спонтанные мутации в природе возникают чрезвычайно редко, а поэтому селекционеру приходится ждать очень долго, иногда всю жизнь, пока в его хозяйстве не появится растение с желательной мутацией. Но мутационный процесс можно значительно ускорить, если использовать факторы, увеличивающие частоту мутаций, т. е. мутагенные факторы. Мы уже говорили об этих факторах, ими могут быть различные виды электромагнитного излучения, изменение температуры или некоторые химические вещества. В результате применения искусственного мутагенеза могут появиться организмы с самыми разнообразными мутациями. Большинство из этих мутаций окажутся бесполезными или вредными, но иногда могут возникнуть и такие, которые представляют для селекционера практический интерес. В этом случае мутантные особи можно скрещивать между собой и в результате многочисленных

повторных скрещиваний получить новый сорт или породу с новыми полезными признаками. Особенно значимые результаты получаются в селекции микроорганизмов.

В настоящее время человечество использует для сельскохозяйственного производства около 10 % всей поверхности суши. Увеличивать эту долю уже невозможно, потому что практически все резервы исчерпаны. Тем большее значение приобретает селекционная работа учёных, которая, опираясь на основные закономерности наследственности и изменчивости, создаёт новые высокопродуктивные породы и сорта. В последние годы селекция активно вводит в практику приёмы и методы генной и клеточной инженерии.

Проверьте свои знания

1. Какие животные являются предками собаки; кошки; крупного рогатого скота; лошади?
2. Объясните, почему близкородственное скрещивание приводит к вырождению генетической линии.
3. Почему для каждого региона нужны свои сорта растений и породы животных? Объясните свою точку зрения.
4. Из большого разнообразия видов животных, обитающих на Земле, человек отобрал для одомашнивания сравнительно немного видов. Как вы считаете, чем это объясняется?
5. Какие из методов селекции, представленные в данном параграфе, являются относительно новыми? Почему эти методы не могли использоваться ранее?

Задания

1. Объясните происхождение терминов «инбридинг» и «аутбридинг».
2. Межвидовые гибриды практически всегда стерильны, т. е. не способны к половому размножению. Это связано с тем, что у них нарушается гаметогенез – процесс формирования половых клеток. Вспомните особенности мейоза – деления, в ходе которого образуются гаметы, и объясните, почему у межвидовых гибридов он не может протекать нормально. Обратите внимание, что, как правило, нарушения мейоза происходят в профазу первого деления.
3. Подготовьте информацию о развитии животноводства в вашем регионе. Выясните, коров каких пород содержат на

ближайших животноводческих фермах, какова их молочная продуктивность. Если есть возможность, организуйте вместе с учителем поход на ферму, конезавод, звероферму. Сделайте красочный отчёт по результатам экскурсии в виде стенда или стенгазеты (групповой проект).

4. Межвидовые гибриды бесплодны. При этом скрещивание домашних животных с их дикими предками приводит к появлению плодовитого потомства. В настоящее время по европейским лесам бродят собачье-волчьи гибриды. В сельском хозяйстве успешно скрещивают овцу с диким бараном или домашнюю корову с зебу. Объясните, почему потомство этих скрещиваний плодовито.

5. Подготовьте доклад о жизни и научной деятельности Н. И. Вавилова. В чём трагичность судьбы этого учёного?

6. Организуйте выставку достижений селекции, посвящённую деятельности местных селекционных центров и станций (групповой проект).

§ 67 Биотехнологии

Если в геном арбуза поместить геном мухи, то семечки будут сами разлетаться.

Мечта биотехнолога

Биотехнология – это использование организмов, биологических систем или биологических процессов в промышленном производстве. Термин «биотехнология» получил широкое распространение с середины 70-х гг. XX в., хотя ещё с древних времён человечество использовало микроорганизмы в хлебопечении и виноделии, при производстве пива и в сыроварении. Любое производство, в основе которого лежит биологический процесс, можно рассматривать как биотехнологию. Генная, хромосомная и клеточная инженерия, клонирование сельскохозяйственных растений и животных – это различные аспекты современной биотехнологии.

Биотехнология позволяет не только получать важные для человека продукты, например антибиотики и гормон роста, этиловый спирт и кефир, но и создавать организмы с заранее заданными свойствами гораздо быстрее, чем традиционные методы селекции. Существуют технологические процессы по очистке сточных вод, переработке отходов, удалению нефтяных разливов в водоёмах, получению топлива, основанные на особенностях жизнедеятельности некоторых микроорганизмов.

Появляющиеся современные биотехнологии изменяют наше общество, открывают новые возможности, но одновременно создают определённые социальные и этические проблемы.

Генная инженерия

Удобными объектами биотехнологии являются микроорганизмы, имеющие сравнительно просто организованный геном, короткий жизненный цикл и обладающие большим разнообразием физиологических и биохимических свойств.

Одной из причин сахарного диабета является недостаток в организме инсулина – гормона поджелудочной железы. Инъекции инсулина, выделенного из поджелудочных желёз свиней и крупного рогатого скота, спасают миллионы жизней, однако у некоторых пациентов приводят к развитию аллергических реакций. Оптимальным решением было бы использование человеческого инсулина. Методами генной инженерии ген инсулина человека был встроен в ДНК кишечной палочки. Бактерия начала активно синтезировать инсулин. В 1982 г. инсулин человека стал первым фармацевтическим препаратом, полученным с помощью методов генной инженерии.

Аналогичным способом в настоящее время получают гормон роста. Человеческий ген, встроенный в геном бактерий, обеспечивает синтез гормона, инъекции которого используются при лечении карликовости и восстанавливают рост больных детей почти до нормального уровня.

Так же как у бактерий, с помощью методов генной инженерии можно изменять и наследственный материал эукариотических организмов. Такие генетически перестроенные организмы называют ***трансгенными*** или ***генетически модифицированными организмами (ГМО)*** (рис. 213).

В природе существует бактерия, которая выделяет токсин, убивающий многих вредных насекомых. Ген, отвечающий за синтез этого токсина, был выделен из генома бактерии и встроен в геном культурных растений. К настоящему времени уже созданы устойчивые к вредителям сорта кукурузы, риса, картофеля и других сельскохозяйственных растений. Выращивание таких трансгенных растений, которые не требуют использования пестицидов, имеет огромные преимущества,

потому что, во-первых, пестициды убивают не только вредных, но и полезных насекомых, а во-вторых, многие пестициды накапливаются в окружающей среде и оказывают мутагенное влияние на живые организмы.

Один из первых успешных экспериментов по созданию генетически модифицированных животных был произведён на мышах, в геном которых был встроен ген гормона роста крыс. В результате трансгенные мыши росли гораздо быстрее и в итоге были в два раза больше обычных мышей. Если этот опыт имел исключительно теоретическое значение, то эксперименты в Канаде имели уже явное практическое применение. Канадские учёные ввели в наследственный материал лосося ген другой рыбы, который активировал ген гормона роста. Это привело к тому, что лосось рос в 10 раз быстрее и набирал вес, в 30 раз превышающий норму.

Клеточная инженерия

В 70-х гг. прошлого века в биотехнологии стала активно развиваться клеточная инженерия. Она позволяет создавать клетки нового типа на основе различных манипуляций, чаще всего гибридизации, т. е. слияния исходных клеток или их ядер.

Рис. 213. Трансгенные животные: А – сверху лососи обычных размеров, снизу – лосось с внедрённым в его хромосомы геном гормона роста; Б – телёнок, в хромосомы которого внедрён ген лактоферрина – мощного иммуномодулятора

В одну из исследуемых клеток помещают ядро, принадлежащее клетке другого организма. Создают условия, при которых эти ядра сливаются, а затем происходит митоз и образуются две одноядерные клетки, каждая из которых содержит смешанный генетический материал. Впервые такой опыт осуществил в 1965 г. английский учёный Г. Харрис, соединив клетки человека и мыши. Впоследствии были получены целые организмы, представляющие собой межвидовые гибриды, полученные методом клеточной инженерии. Такие гибриды отличаются от гибридов, полученных половым путём тем, что в них находится цитоплазма обоих родителей (вспомним, что при обычном оплодотворении цитоплазма сперматозоида в яйцеклетку не проникает). Слияние клеток используют для получения гибридов с полезными свойствами между отдалёнными видами, которые обычным путём не скрещиваются. Удаётся также получать клеточные гибриды растений, несущие цитоплазматические гены (т. е. гены, находящиеся в митохондриях и пластидах), которые увеличивают устойчивость к

различным вредным воздействиям.

Клонирование

Создание многочисленных генетических копий одного индивидуума с помощью бесполого размножения называют ***клонированием***. У ряда организмов этот процесс может происходить естественным путём (вспомните вегетативное размножение у растений и фрагментацию у некоторых животных). У позвоночных животных этот процесс естественным путём не происходит.

Впервые успешный эксперимент по клонированию животных был осуществлён исследователем Гёрдоном в конце 60-х гг. XX в. в Оксфордском университете. Учёный пересадил ядро, взятое из клетки эпителия кишки лягушки-альбиноса, в неоплодотворённую яйцеклетку обычной лягушки, чьё ядро перед этим было разрушено. Из такой яйцеклетки учёному удалось вырастить головастика, превратившегося затем в лягушку, которая была точной копией лягушки-альбиноса. Таким образом, впервые было показано, что информации, содержащейся в ядре любой клетки, достаточно для развития полноценного организма.

В дальнейшем исследования, проведённые в Шотландии в 1996 г., привели к успешному клонированию овцы Долли из клетки эпителия молочной железы её матери (рис. 214).

Клонирование представляется перспективным методом в животноводстве. Например, при разведении крупного рогатого скота используется следующий приём. На ранней стадии развития, когда клетки эмбриона ещё не специализированы, зародыш разделяют на несколько частей. Из каждого фрагмента, помещённого в приёмную (суррогатную) мать, может развиться полноценный телёнок. Таким способом можно создать множество идентичных копий одного животного, обладающего ценными качествами.

Для специальных целей можно также клонировать отдельные клетки, создавая культуры тканей, которые в подходящих средах способны расти бесконечно долго. Клонированные клетки служат заменой лабораторным животным, так как на них можно изучать воздействие на живые организмы различных химических веществ, например лекарственных препаратов.

При клонировании растений используется уникальная особенность растительных клеток. В начале 60-х гг. XX в. впервые было показано, что клетки растений даже после достижения зрелости и специализации в подходящих условиях способны

давать начало целому растению (рис. 215). Поэтому современные методы клеточной инженерии позволяют осуществлять селекцию растений на клеточном уровне, т. е. отбирать не взрослые растения, обладающие теми или иными свойствами, а клетки, из которых потом выращивают полноценные растения.

Этические аспекты развития биотехнологии

Использование современных биотехнологий ставит перед человечеством много серьёзных вопросов. Не может ли ген, встроенный в трансгенные растения томата, при съедании плодов мигрировать и встраиваться в геном, например, бактерий, живущих в кишечнике человека? Не может ли трансгенное культурное растение, устойчивое к гербицидам, болезням, засухе и другим стрессовым факторам, при перекрёстном опылении с родственными дикими растениями передать эти же свойства сорнякам? Не получатся ли при этом «суперсорняки», которые очень быстро заселят сельскохозяйственные земли? Не попадут ли случайно мальки гигантского лосося в открытое море и не нарушит ли это баланс в природной популяции? Способен ли организм трансгенных животных выдержать ту нагрузку, которая возникает в связи с функционированием чужеродных генов? И имеет ли право человек переделывать живые организмы ради собственного блага?

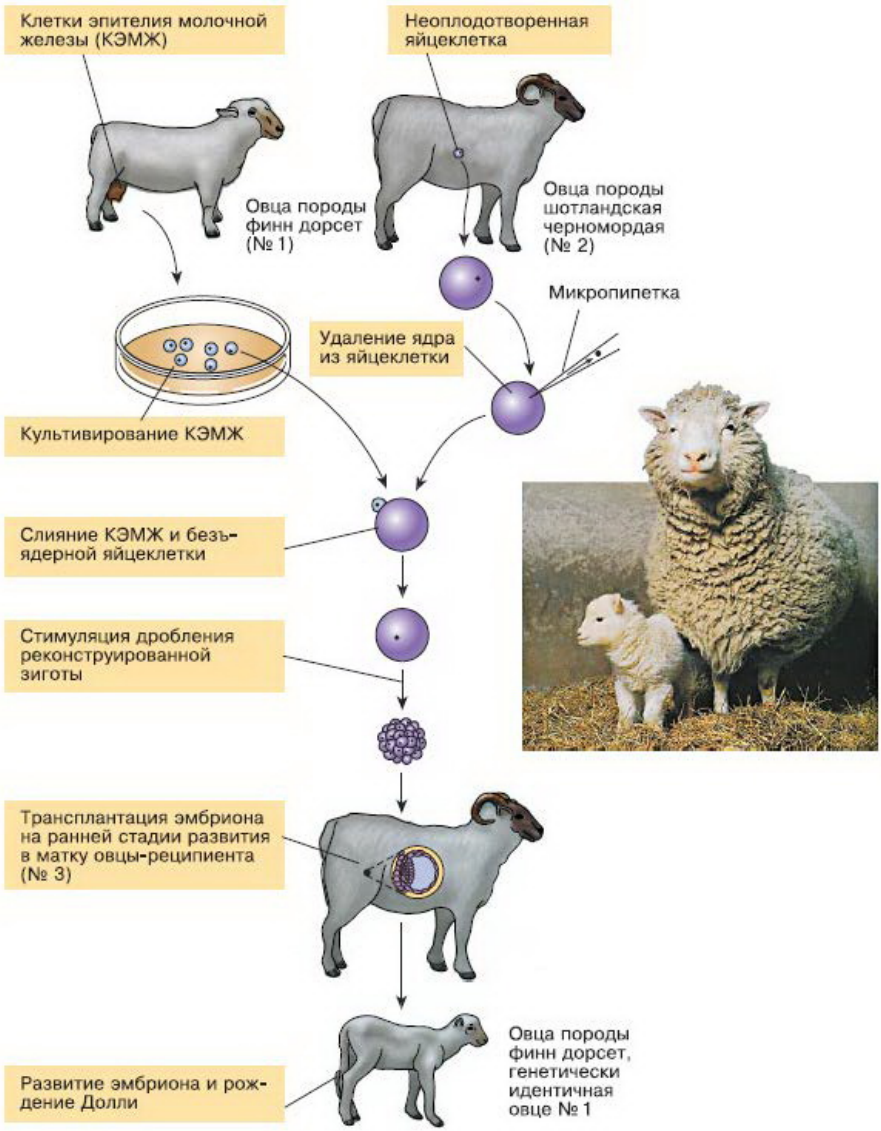


Рис. 214. Клонирование овцы Долли

Эти и многие другие вопросы, связанные с созданием ГМО, широко обсуждаются специалистами и общественностью всего мира. Созданные во всех странах специальные контролирующие органы и комиссии утверждают, что, несмотря на существующие опасения, вредного воздействия ГМО на природу зафиксировано не было.

Рис. 215. Этапы клонирования растений

Попробуем сами разобраться в вопросе, может ли

употребление в пищу ГМО принести вред организму человека. Как известно, любой ген определяет состав определённого белка. Значит, ГМО будет содержать некий белок, несвойственный данному виду. Когда этот белок будет съеден, он расщепится в желудке и кишечнике на отдельные аминокислоты. Все белки состоят из двадцати типов аминокислот, а свойства белка определяются только порядком расположения аминокислот.

После расщепления уже не имеет значения, из какого белка взяты эти аминокислоты и какой ген кодировал этот белок. Поэтому для утверждения о вредности ГМО нет никаких научных оснований. Теоретически вред, который может принести употребление в пищу ГМО, нисколько не больше вреда от организмов, полученных путём обычного скрещивания.

В 1996 г. Совет Европы принял Конвенцию о правах человека при использовании геномных технологий в медицине. Центральное внимание в документе уделено этике применения таких технологий. Утверждается, что ни одна личность не может быть подвергнута дискриминации на основе информации об особенностях её генома.

Введение в клетки человека чужеродного генетического материала может иметь отрицательные последствия. Неконтролируемое встраивание чужой ДНК в те или иные участки генома может привести к нарушению работы генов. Риск использования генотерапии при работе с половыми клетками гораздо выше, чем при использовании соматических клеток. При внесении генетических конструкций в половые клетки может возникнуть нежелательное изменение генома будущих поколений. Поэтому в международных документах ЮНЕСКО, Совета Европы, Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) подчёркивается, что всякое изменение генома человека может производиться лишь на соматических клетках.

Но, пожалуй, наиболее серьёзные вопросы возникают в связи с теоретически возможным клонированием человека. Исследования в области человеческого клонирования сегодня запрещены во всех странах в первую очередь по этическим соображениям. Становление человека как личности базируется не только на наследственности. Оно определяется семейной, социальной и культурной средой, поэтому при любом клонировании воссоздать личность невозможно, как невозможно воспроизвести все те условия воспитания и обучения, которые сформировали личность его прототипа (донора ядра). Все крупные религиозные конфессии мира осуждают любое вмешательство в процесс воспроизводства человека, настаивая на том, что зачатие и рождение должны происходить естественным

путём.

Эксперименты по клонированию животных поставили перед научной общественностью ряд серьёзных вопросов, от решения которых зависит дальнейшее развитие этой области науки. Необходимо существенно повысить жизнеспособность клонированных организмов, выяснить, влияет ли использование конкретных методик на продолжительность жизни, здоровье и плодовитость животных. Очень важно свести к минимуму риск дефектного развития реконструированной яйцеклетки.

Активное внедрение биотехнологий в медицину и генетику человека привело к появлению специальной науки – биоэтики. *Биоэтика* – наука об этичном отношении ко всему живому, в том числе и к человеку. Нормы этики выдвигаются сейчас на первый план. Те нравственные заповеди, которыми человечество пользуется века, к сожалению, не предусматривают новых возможностей, привносимых в жизнь современной наукой. Поэтому людям необходимо обсуждать и принимать новые законы, учитывающие новые реальности жизни.

Проверьте свои знания

1. Что такое биотехнология?
2. Какие проблемы решает генная инженерия? С какими трудностями связаны исследования в этой области?
3. Объясните, почему селекция микроорганизмов приобретает в настоящее время первостепенное значение.
4. Какие организмы называют трансгенными?
5. Какие перспективы в развитии народного хозяйства открывает использование трансгенных животных?
6. В чём преимущество клонирования по сравнению с традиционными методами селекции?

Задания

1. Приведите примеры промышленного получения и использования продуктов жизнедеятельности микроорганизмов.
2. Организуйте и проведите в классе дискуссию на одну из предложенных тем: «Может ли современное человечество обойтись без биотехнологии?», «ГМО и клонирование человека: за и против».
3. Используя дополнительную литературу и ресурсы Интернета, подготовьте выставку на тему «Достижения

биотехнологии: прошлое, настоящее и будущее».

§ 68 Ноосфера и перемещение в пространстве

Дым столбом – кипит, дымится
Пароход…
Пестрота, разгул, волненье,
Ожиданье, нетерпенье…
Веселится и ликует
Весь народ.
И быстрее, шибче воли
Поезд мчится в чистом поле.

Н. В. Кукольник

С самого начала своего существования потребности человечества не ограничивались питанием и получением других продуктов животного и растительного происхождения. Одной из главных потребностей человека всегда было передвижение, причём человек хотел перемещаться на возможно большие расстояния и с возможно большей скоростью.

Рис. 216. Древние повозки

Этого требовали непрерывно происходившие войны, торговля и вообще человеческое любопытство. Для того чтобы достигнуть прогресса в этом направлении, требовалось решить две проблемы:

во-первых, найти источник энергии, т. е. устройство, способное превращать потенциальную энергию в кинетическую, а во-вторых, по возможности уменьшить сопротивление среды для того, чтобы затрачивать как можно меньше этой энергии.

Первые повозки и дороги

Решение обеих проблем началось в глубокой древности. В ходе неолитической революции человек стал использовать для получения кинетической энергии не только свои мышцы, но и мышцы верховых или вьючных животных. Вторая проблема тоже имеет долгую историю. Вначале, примерно в период той же неолитической революции, люди стали подкладывать под передвигаемые предметы деревянные катки, что позволило значительно уменьшить силу трения. Но прошло ещё около 10 тыс. лет, пока в Индии и Месопотамии не появились колёсные повозки (рис. 216). Езда на колёсах позволила передвигаться значительно быстрее, однако колёса часто застревали между камнями, углублениями в почве и корнями деревьев. Поэтому для более эффективной езды догадались прокладывать дороги. Наиболее древние из известных нам дорог относятся к IV тыс. до н. э. Покрытие их было сделано из дерева, но вскоре дороги стали мостить каменными плитами. В начале V в. до н. э. в Персидской империи была построена царская дорога длиной 2600 км. На ней были установлены дорожные столбы с указанием расстояний, станции с гостиницами, конюшнями для смены лошадей, продовольственными складами и гарнизонами. Наиболее развитая сеть дорог существовала в Римской империи, где дороги соединяли все важнейшие административные и торговые центры. Некоторыми римскими дорогами пользуются до сего времени, хотя теперь они уже покрыты асфальтом (рис. 217).

Энергия мышц и ветра

Проблема получения новых видов энергии решалась значительно медленнее. Вплоть до конца XIX в. почти единственным источником энергии для передвижения по суше являлась энергия, запасённая в мышцах человека и животных. При водных путешествиях также часто использовали мышечную энергию, приводившую в движение вёсла, а также энергию ветра (кинетическую энергию молекул воздуха). Первые паруса появились в Египте или Месопотамии около 5–6 тыс. лет назад. С

их помощью можно было передвигаться против течения рек без использования вёсел, а также совершать морские путешествия.

Рис. 217. Римские дороги

Моряки тех времён достигли такого совершенства в управлении парусами, что могли заставить корабль двигаться даже против ветра. Но в безветренную погоду паруса были бесполезны, да и скорость, которую можно было развивать с их помощью, со временем показалась недостаточной.

Изобретение парохода

Переворот произошёл в конце XVIII в., когда Джеймс Уатт начал производить паровые двигатели. Вначале их применяли только в промышленности для работы стационарных механизмов, но вскоре возникла идея использовать их для передвижения. Первый в истории пароход был изобретён в 1880-х гг. американцем Джоном Фитчем. Он установил на пароходе паровой двигатель, который приводил в движение вёсла, так что его пароход двигался наподобие галеры. Пароход Фитча так и не был доведён до практического использования, а создателем первого действующего парохода оказался его соотечественник Роберт Фултон (1765–1815). Поначалу работу Фултона сопровождали многочисленные неудачи и общественное недоверие, им пренебрегли Наполеон и британское правительство. В результате Фултон вернулся в Америку, и в 1807 г. построенный им пароход

«Клермонт» отправился в свой первый рейс по реке Гудзон (рис. 218). На путь от Нью-Йорка до Олбани протяжённостью 150 миль против течения и при встречном ветре «Клермонт» затратил 32 часа. После введения некоторых улучшений в конструкцию парохода Фултон наладил постоянные пассажирские рейсы на этом речном маршруте.

Первые паровозы

Приблизительно в то же время возникла идея использовать паровой двигатель для передвижения по суше. Было понятно, что громоздкая машина, движущаяся с довольно большой скоростью, не сможет ехать по обычной дороге, ей необходим рельсовый путь. Такие пути к началу XIX в. уже существовали и работали на конной тяге. Дело было за изобретением паровоза. Попытки его создания неоднократно предпринимались многими инженерами, но самым удачливым оказался англичанин **Георг Стефенсон** (1781–1848), который в 1812–1829 гг. не только предложил несколько удачных моделей паровозов, но и убедил владельцев шахт построить первую железную дорогу, способную выдержать такой тяжёлый агрегат, как паровоз.

Рис. 218. Колёсный пароход

Вскоре паровоз Стефенсона стал главным локомотивом первой общественной железной дороги, соединившей Манчестер с Ливерпулем.

Первый паровоз в России был построен отцом и сыном Черепановыми в 1833–1834 гг. Он возил поезда с рудой на Нижнетагильском заводе и назывался пароходкой, но

дальнейшего распространения не получил. Серийное производство паровозов в России было налажено только в 1870-х гг. Их активно использовали до середины 50-х гг. XX в., после чего производство прекратилось, так как паровозы были вытеснены тепловозами и электровозами (рис. 219).

Двигатель внутреннего сгорания

Паровой двигатель при всех его достоинствах имел серьёзный недостаток – он был слишком массивен. Кроме того, для его работы требовался огромный запас угля, что делало невозможным использование такого двигателя на лёгких и маневренных транспортных средствах. Попытки поставить паровой двигатель на повозку, предпринимавшиеся, в частности, одним из его изобретателей, русским механиком И. И. Ползуновым, успеха не имели – слишком громоздкой получилась конструкция. Для передвижения человека по поверхности земли требовался новый тип двигателя. Он вскоре был изобретён и получил название *двигателя внутреннего сгорания.*

Первый такой двигатель был сконструирован в 1860 г. Э. Денуаром. В 1876 г. немецкий изобретатель **Николаус Отто** (1832–1891) построил более совершенный четырёхтактный двигатель, а в 1880-е гг. **Огнеслав Степанович Костович** (1851–1910) в России сконструировал первый карбюраторный двигатель, который в качестве топлива мог использовать бензин.

Рис. 219. Памятник паровозу в г. Магнитогорске (паровоз «ЗУб84-58» построен на Коломенском заводе в 1929 г.)

Получился новый тип двигателя с большей компактностью и коэффициентом полезного действия.

Первые автомобили

После изобретения Н. Отто над усовершенствованием двигателей внутреннего сгорания работали многие инженеры. Одним из них был немецкий механик Карл Бенц (1844–1929). Усовершенствовав бензиновый двигатель, он в 1885 г. построил первый автомобиль, представлявший собой двухместный экипаж на трёх высоких колёсах со спицами, на который был поставлен изобретённый Бенцем четырёхтактный бензиновый мотор объёмом 0,9 л. Автомобиль развивал максимальную скорость 16 км/ч и вызывал у соседей не столько восхищение, сколько ужас, пугая страшным рёвом людей и лошадей. Бенц принялся за совершенствование своего автомобиля, но через несколько лет автомобиль угнали. Угонщиками оказались жена и два сына изобретателя, которые умудрились проехать 180 км с приличной скоростью по неровной, но оживлённой дороге. Жители окрестных селений толпами сбегались к дороге, чтобы посмотреть на эту чудесную «безлошадную повозку». Об «автопробеге» узнала вся Германия, автомобиль стал широко обсуждаться в прессе, и реклама сделала своё дело: Бенц был признан изобретателем первого автомобиля, хотя в то время у него было немало конкурентов.

Нельзя сказать, однако, что паровые автомобили легко сдались бензиновым (рис. 220). Они тоже продолжали совершенствоваться и привлекать покупателей. В 1900 г. примерно половина автомобилей США были на паровом ходу.

Рис. 220. Первые автомобили

И только в середине 1930-х гг. они не выдержали конкуренции и сошли со сцены, дав возможность совершенствоваться автомобилям, работающим на бензиновом и дизельном топливе (рис. 221).

Двигатель внутреннего сгорания продолжал своё триумфальное шествие и наконец позволил осуществить вековую мечту человечества – подняться в небо.

Проверьте свои знания

1. Какие способы передвижения использовали в древности?
2. Кто был создателем первого паровоза? Сравните паровозы, тепловозы и электровозы. В чём их сходство и в чём принципиальные различия?
3. Какое изобретение было сделано Н. Отто? Какое значение оно имело для развития промышленности и автомобилестроения?
4. При каких способах передвижения в настоящее время используется только энергия мышц?

Рис. 221.Современные автомобили

Задания

1. Используя знания, полученные ранее на уроках физики, объясните принцип действия двигателя внутреннего сгорания.

2. Во многих городах нашей страны существуют памятники паровозам и автомобилям. Узнайте, есть ли такие памятники в вашем городе, районе или области. Какова история этих памятников?

3. Узнайте, когда в вашем городе, районе, области была построена железная дорога, проложены автомобильные трассы. Существуют ли в вашем регионе автомобилестроительные заводы, заводы, производящие железнодорожную технику, судостроительные верфи? Подготовьте выставку, посвящённую истории развития транспорта в вашем регионе. В качестве экспонатов могут выступать написанные вами сообщения и взятые интервью, выдержки из старых газет и журналов, чертежи, макеты, модели, фотографии и т. д. Соберите отзывы о выставке и

сделайте выводы (групповой проект).

§ 69 Человек уходит в небо

Человек полетит, опираясь не на силу своих мускулов, а на силу своего разума.

Н. Е. Жуковский

Аэростаты и дирижабли

Одним из самых заветных желаний человека с глубокой древности было желание летать. Ещё не было ничего из только что описанного – ни пароходов, ни паровозов, ни тем более автомобилей, а человека уже тянуло в небо. Мифы и легенды переполнены рассказами о человеческих существах, которые либо от природы, либо благодаря своему таланту освоили воздушное пространство. Сохранились предания о смельчаках, которые приделывали себе самодельные крылья и бросались со скал, колоколен и башен в надежде полететь. Однако реально мечты о полёте начали сбываться в XVIII в., когда был изобретён аэростат (воздушный шар). Официально первое испытание воздушного шара состоялось в 1782 г., когда братья Жозеф и Этьен Монгольфье впервые продемонстрировали своё изобретение родным и знакомым. Их «аэростатическая машина» диаметром 3,5 м продержалась в воздухе около 10 минут, поднявшись при этом на высоту почти 300 м. Через год они повторили полёт своего изобретения уже на базарной площади своего городка в присутствии большого числа зрителей и подтвердили его протоколом, скреплённым подписями должностных лиц. Так началась эпоха воздухоплавания.

Воздушный шар взлетает из-за того, что он легче воздуха (выполняется закон Архимеда, только не для жидкостей, а для газов). Его плотная оболочка наполняется газом, плотность которого меньше, чем плотность воздуха. У братьев Монгольфье это был дым. Когда братья продемонстрировали своё изобретение в Париже, Академия наук поручила физику Жаку Шарлю сконструировать собственный летательный аппарат. Шарль решил, что дым для этого неудобен, и надул свой аэростат водородом, который, как известно, тоже легче воздуха. Монгольфье не сдались и продолжали усовершенствовать свой шар, сжигая в нём резаную солому.

Рис. 222. Шар Монгольфье

Аппарат братьев назвали «монгольфьером» (рис. 222), а аппарат Шарля – «шарльером». В итоге победила дружба, и первый человек (вернее, первые два человека) поднялся на «монгольфьере» 21 ноября 1783 г., а первые два человека на «шар– льере» ровно через неделю.

Рис. 223. Стратостат

В течение XIX в. аэростаты совершенствовались, появились стратостаты (рис. 223) – разновидность аэростатов, способных достигать очень больших высот (более 30 км).

Стратостаты обычно наполняли гелием, так как водород, хотя и дешевле, в смеси с воздухом взрывоопасен.

Основным недостатком аэростата была его плохая управляемость, достаточно было сильного ветра, чтобы аэростат оказался совсем не там, где хотел очутиться экипаж (вспомните «Таинственный остров» Жюля Верна). В конце XIX в. началось активное создание *дирижаблей,* которые отличались от обычных аэростатов наличием винта (пропеллера) (рис. 224).

Вскоре аэростаты и дирижабли перестали удовлетворять запросам человечества из-за слишком больших размеров, неудобства в управлении и при посадке. Люди мечтали о компактном, маневренном и хорошо управляемом аппарате. Однако многие достаточно авторитетные учёные доказывали, что создание таких аппаратов невозможно по очень простой причине – их плотность больше, чем плотность воздуха, а в этом случае никакой полёт невозможен.

Первые самолёты

Одним из первых конструкторов, попытавшихся создать летательный аппарат, который был тяжелее воздуха, стал российский адмирал Александр Фёдорович Можайский (1825–1890). Он часто и внимательно наблюдал за полётом птиц и игрушечных воздушных змеев и сделал вывод, что высокая плотность аппарата не исключает возможности его полёта.

Рис. 224. Дирижабль

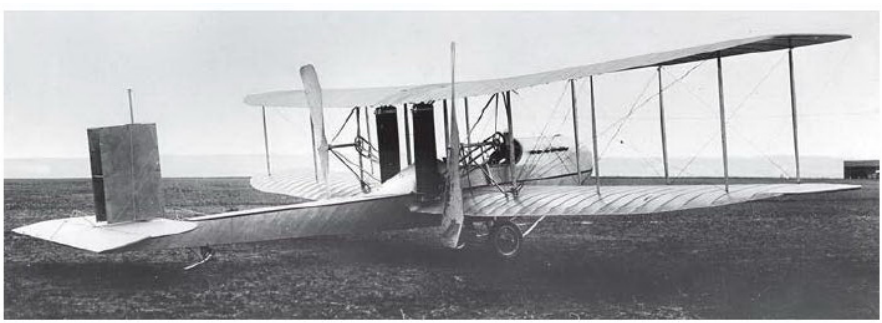


Рис. 225. Самолёт братьев Райт

Можайский сконструировал в 1882–1885 гг. первый самолёт с паровым двигателем, который, однако, не смог взлететь.

Первым самолётом, который смог самостоятельно оторваться от земли и совершить управляемый полёт, стал «Флайер», сконструированный в США братьями Орвиллом и Уилбером Райт (рис. 225). 17 декабря 1903 г. их самолёт продержался в воздухе почти полторы минуты и пролетел 200 м, после чего официально

был признан первым в мире аппаратом тяжелее воздуха, который совершил пилотируемый полёт с использованием двигателя.

Почему самолёты летают

Почему же всё-таки, несмотря на «доказанную учёными невозможность», самолёты летают? Потому что при движении предмета сквозь воздух может возникнуть дополнительная подъёмная сила, которая заставит этот предмет подниматься вверх. Ещё в 1505 г. Леонардо да Винчи писал:

> *«…когда птица находится в ветре, она может держаться в нём без взмахов крыльями, ибо ту же роль, которую при неподвижном воздухе крыло выполняет в отношении воздуха, выполняет движущийся воздух в отношении крыльев при неподвижных крыльях».*

Из этой идеи следует: чтобы полететь, не нужно размахивать крыльями, нужно заставить их двигаться относительно воздуха. А для этого крылу нужно просто сообщить горизонтальную скорость. От взаимодействия крыла с воздухом возникнет подъёмная сила, и, как только её величина окажется больше величины веса самого крыла и всего, что с ним связано, начнётся полёт. Теория подъёмной силы крыла самолёта была разработана в 1906 г. российским математиком и механиком Николаем Егоровичем Жуковским (1847–1921) (рис. 226).

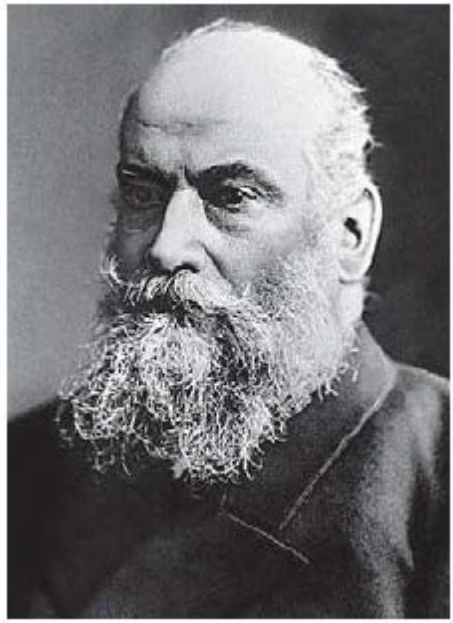


Рис. 226. Н. Е. Жуковский

Подъёмная сила зависит от скорости движущегося предмета и от угла его наклона к направлению движущегося воздуха. Посмотрим сначала, какие силы действуют на бумажный змей, удерживаемый на ветру верёвкой (рис. 227). На поверхность змея действует сила воздушного потока, которая толкает его вверх. Кроме того, на змей действуют силы тяжести и натяжения верёвки, заставляя его двигаться вниз. При равенстве нулю суммы этих сил змей будет держаться в воздухе, но если сила давления ветра будет больше направленных вниз сил, змей будет подниматься.

В случае самолёта имеют значение форма его крыла и угол, под которым он находится по отношению к встречному потоку воздуха.

Этот угол называют *углом атаки.* Снизу поверхность крыла плоская, а сверху – выпуклая. Поэтому, когда самолёт находится в полёте, поток воздуха, который движется навстречу крылу, должен проделать вдоль его верхней поверхности больший путь, чем вдоль нижней, и это различие ещё больше увеличивается из-за угла атаки. Следовательно, скорость воздуха над крылом должна быть больше, чем под ним. А согласно законам аэродинамики, чем больше скорость потока, тем ниже давление в нём. Значит, давление воздуха на крыло снизу будет больше, чем давление сверху. Отсюда и возникает подъёмная сила, которая к тому же увеличивается при возрастании угла атаки. Чем больше

угол атаки, тем больше подъёмная сила, но тем больше и сопротивление воздуха, которое приходится преодолевать самолёту. Поэтому, для того чтобы этот угол имел оптимальное для данной ситуации положение, на самолёте существуют специальные рули для его изменения. В зависимости от их положения самолёт набирает высоту, летит горизонтально или снижается.

Для полёта самолёта используют двигатели различного типа. Первые самолёты имели воздушные винты, или пропеллеры, которые, вращаясь, создавали поток воздуха. Современные самолёты оснащены турбовинтовыми и турбореактивными двигателями, которые позволяют им развивать очень высокую скорость (рис. 228).

Рис. 227. Полёт бумажного змея

Рис. 228. Ретроспектива самолётов (от начала XX в. до начала XXI в.): А – У-2 (1928); Б – Конкорд (1969); В – Боинг-737 (1967); Г – МиГ-21 (1956); Д – Ил-96 (1988) (в скобках указан год первого полёта)

Были созданы так называемые сверхзвуковые самолёты, скорость которых превышала скорость звука (331,5 м/с при 0 °С). Попытки использовать их для перевозки пассажиров успехом не увенчались из-за слишком большого риска, и в настоящее время их применяют только в военной авиации. Современные реактивные самолёты могут развивать скорость до 3500 км/ч, т. е. почти 1 км/с.

Проверьте свои знания

1. Когда и кем был сконструирован первый воздушный шар?
2. Чем дирижабль отличается от аэростата?
3. Кто сделал первую попытку построить самолёт? Как вы думаете, почему первый самолёт не смог подняться в воздух?
4. Объясните, почему, несмотря на огромную массу, самолёты летают.

Задания

1. Запустите воздушный змей. Проанализируйте, насколько легко вам это удалось сделать. Зависел ли ваш успех от конструкции змея, погоды и других факторов?
2. Используя дополнительную литературу и ресурсы Интернета, подготовьте сообщение или презентацию на тему «История воздухоплавания».

§ 70 За пределами земного тяготения

Земля – колыбель человечества,
но нельзя вечно жить в колыбели.

К. Э. Циолковский

Первая половина XX в.: Циолковский и его последователи

В прошлом учебном году мы говорили о том, что в начале XX в. российский учёный К. Э. Циолковский мечтал о полётах человека за пределы Земли и даже Солнечной системы и о заселении человечеством далёких планет (рис. 229). Он понимал, что передвижение в безвоздушном пространстве возможно только с помощью реактивных двигателей, и сам занимался разработкой этих двигателей (рис. 230). Циолковский уже тогда понимал, что твёрдые взрывчатые вещества, главным из которых в то время являлся порох, малопригодны для запуска ракет на большие расстояния из-за того, что отношение их массы и выделяемой при горении энергии слишком велико. В ракете Циолковского предполагалось разместить два отсека, содержащие жидкий кислород и водород.

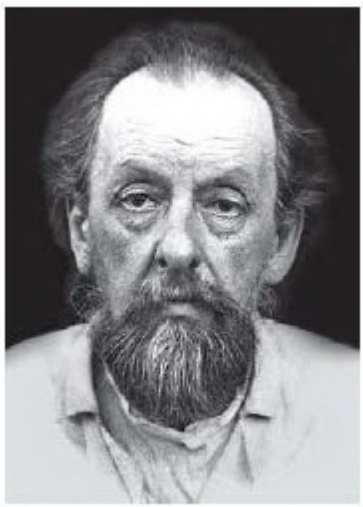


Рис. 229. К. Э. Циолковский

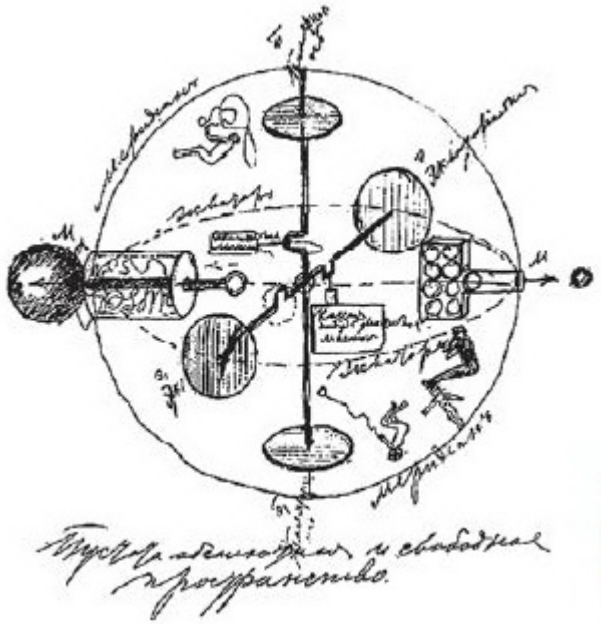


Рис. 230. Чертёж первого космического корабля К. Э. Циолковского (из рукописи «Свободное пространство», 1883 г.)

По мере поступления в общую камеру они должны были реагировать с образованием воды и выделением огромного количества энергии, за счёт которой и происходил бы полёт ракеты.

В те же годы к полётам на далёкие планеты стремился не один Циолковский. В 1907 г. американский учёный Годдард опубликовал статью «О возможности перемещения в межпланетном пространстве», очень близкую по духу работе Циолковского. О том же мечтал совсем ещё тогда юный немец Вернер фон Браун – будущий создатель нацистской ракеты «Фау-2», а затем и первых американских космических ракет. Позже он вспоминал: *«Это была цель, которой можно было посвятить всю жизнь! Не только наблюдать планеты в телескоп, но и самому прорваться во Вселенную, исследовать таинственные миры».*

В 30-е гг. XX в. в Советском Союзе и Германии начались активные исследования в области ракетной техники. Но всем было понятно, что в недалёком будущем начнётся война, поэтому о полётах в космос пришлось забыть, так как все усилия были направлены на разработку военной техники. В Советском Союзе был создан Ракетный научно-исследовательский институт, в котором работали будущие создатели космических ракет Сергей Павлович Королёв (1907–1966) и Валентин Петрович Глушко

(1908–1989). Под их руководством изготавливались зенитные ракеты и миномёты, в том числе легендарные «катюши» (рис. 231, 232). В Германии тем временем фон Браун создал знаменитую «Фау-2», превосходившую все существовавшие в то время ракеты по скорости и дальности полёта.

Создание спутников

После окончания войны создание ракет для военных целей плавно переросло в разработку космических аппаратов. В Советском Союзе этими работами руководил С. П. Королёв, а в США – взятый в конце войны в плен фон Браун.

Рис. 231. Пензенский машиностроительный завод, памятник «катюше», 1982

Первой задачей создателей космической техники было выведение на околоземную орбиту тела, способного вращаться вокруг Земли подобно тому, как это делает Луна, т. е. искусственного спутника Земли. Для того чтобы это стало возможным, ракета должна достичь так называемой первой космической скорости, которая составляет 7,9 км/с. При запуске ракеты с меньшей скоростью она не выйдет на орбиту и упадёт обратно на Землю. Существует ещё вторая космическая скорость, требующая, чтобы искусственное тело покинуло пределы земного притяжения и стала спутником Солнца (искусственной планетой). Она равна 11,2 км/с. Третью и четвёртую космические скорости требуется развить для того, чтобы искусственное космическое

тело покинуло соответственно пределы Солнечной системы и Галактики. Точное значение этих скоростей зависит от многих обстоятельств, связанных с конкретными особенностями полёта.

Рис. 232. Боевое применение гвардейского реактивного миномета «катюша» (Великая Отечественная война)

Для того чтобы развить и удерживать такие скорости, ракета должна быть многоступенчатой. К этому выводу пришёл ещё задолго до создания таких ракет К. Э. Циолковский, который подтвердил эту идею тщательными расчётами и вывел для этого специальную формулу.

Дело в том, что для развития космической скорости требуется огромная энергия, а следовательно, огромные запасы топлива. Получается, что основную часть массы ракеты составляет топливо. На долю полезных частей ракеты приходится не более 2 % стартовой массы ракеты. Ракета, состоящая из нескольких ступеней, позволяет существенно сэкономить на затрачиваемых усилиях за счёт того, что во время полёта та ступень, которая уже выработала своё топливо, отделяется, и остальное топливо не расходуется на ускорение ставшей ненужной ступени.

Успешное создание многоступенчатых ракет позволило в скором времени осуществить давнюю мечту конструкторов и вывести на околоземную орбиту искусственные спутники Земли. Первый спутник, созданный конструкторами под руководством С. П. Королёва, был выведен на орбиту 4 октября 1957 г. и находился в полёте до начала января 1958 г., совершив за это время 1440 витков вокруг планеты (рис. 233).

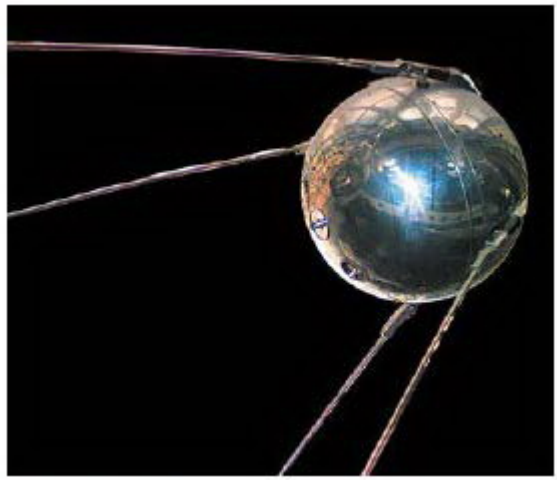


Рис. 233. Первый спутник

Он представлял собой сооружение массой 83,6 кг и диаметром чуть более полуметра. Период его обращения вокруг Земли составлял немного более полутора часов, а максимальное удаление от неё – 228 км. В него был вставлен передатчик, который периодически издавал «пиканье», которое улавливалось в любой точке земного шара. Это событие стало началом космической эры. Успех был огромный. Американская газета «Нью-Йорк таймс» на следующий день написала: «Уже сейчас ясно, что 4 октября 1957 г. навеки войдёт в анналы истории как день одного из величайших достижений человека». «Пиканья» стали позывными радиостанций, а само слово «спутник» даже не пытались переводить на иностранные языки – во всём мире оно звучало как sputnik. Через месяц после первого спутника на орбиту был выведен второй с собакой по кличке Лайка на борту, а 15 мая 1958 г. – третий с большим количеством научной аппаратуры. Соединённым Штатам после нескольких неудачных попыток удалось 31 января 1958 г. запустить искусственный спутник «Авангард». Второй американский спутник «Авангард-1» был выведен на орбиту 17 марта того же года и стал первым спутником, оснащённым солнечными батареями. Интересно, что он до сих пор находится на орбите.

После того как успешное выведение спутников на орбиту было налажено, начались интенсивные разработки технических устройств, целью которых было освоение Луны. После первой неудачной попытки советская станция «Луна-2» в 1959 г. достигла поверхности Луны, а станция «Луна-3» сумела облететь вокруг Луны и сфотографировать её невидимую с Земли сторону.

В то же время продолжались исследования околоземного пространства. В 1960 г. был запущен спутник с двумя собаками – Белкой и Стрелкой.

Впервые обоим животным удалось благополучно вернуться домой. Наконец, 12 апреля 1961 г. был совершён первый полёт космического корабля «Восток» с человеком на борту. Полёт продолжался полтора часа и закончился благополучно. Первым космонавтом Земли стал Юрий Алексеевич Гагарин (1934–1968) (рис. 234).

Рис. 234. Ю. А. Гагарин

По мере развития космической техники появились двух– и трёхместные корабли, а в 1965 г. Алексей Леонов впервые вышел из корабля в открытый космос.

Рис. 235. Первый шаг человека
Рис. 236. «Луноход-1» на Луне

Человек всё же продолжал стремиться к Луне и планетам Солнечной системы. В 1966 г. была совершена первая посадка советского автоматического аппарата на поверхность Луны и переданы на Землю панорамные снимки нашего естественного спутника, а 21 июля 1969 г. на поверхность Луны наконец ступил первый человек (рис. 235). Этим человеком был американский астронавт Нил Армстронг (1930–2012). Советский Союз отказался от лунных экспедиций с участием человека и продолжал доставлять на Луну автоматические установки. В 1970 г. станция «Луна-15» мягко опустилась на Луну, затем стартовала с неё и доставила на Землю образцы лунного грунта, а через два месяца на Луну был доставлен дистанционно управляемый с Земли самоходный аппарат «Луноход-1» (рис. 236).

В этот период не прекращались интенсивные исследования планет Солнечной системы. Уже в 1966 г. станция «Венера-2», а в 1970 г. «Венера-7» совершили на неё мягкую посадку. С тех пор советские и американские исследователи неоднократно запускали аппараты, которые либо опускались на поверхность планет, либо становились их искусственными спутниками и передавали на Землю ценную информацию. Так было проведено исследование Марса, Венеры, Юпитера, Сатурна, Меркурия, нескольких астероидов и комет. В 1972 г. удалось достичь третьей космической скорости, и американский аппарат, пролетев мимо Юпитера, ушёл за пределы Солнечной системы.

После того как появились космические корабли многоразового действия, способные неоднократно стартовать с Земли и возвращаться обратно (раньше на Землю спускали только небольшой отсек с людьми и самым необходимым грузом), возникла идея создания космических станций, постоянно находящихся на околоземной орбите. Космические корабли многоразового действия могли проводить смену экипажа и доставку продовольствия и оборудования. Первые космические станции создавались в Советском Союзе и США в строгом секрете друг от друга, хотя некоторая попытка к сближению началась ещё в 1975 г., когда была осуществлена стыковка советского космического корабля «Союз» с американским «Аполлоном» (рис. 237). А в 1992 г. Россия и США заключили Соглашение о совместном исследовании космоса. В настоящее время на орбите находится Международная космическая станция (МКС), экипаж которой составляют поочерёдно меняющиеся граждане России, США и других государств. С недавнего времени разрешён доступ на МКС «космическим туристам», которым за определённую плату позволяется взглянуть на Землю со стороны.

Практическую выгоду от использования искусственных спутников и МКС трудно переоценить. Их используют для радио-, телевизионной и интернет-связи, для навигации всевозможных транспортных средств, метеорологических прогнозов и многого другого. Полёты человека на другие планеты пока пришлось отложить, но в перспективе такие проекты разрабатываются (рис. 238).

Проверьте свои знания

1. В чём состояли научно-технические заслуги К. Э. Циолковского?
2. Что такое первая, вторая, третья и четвёртая космические скорости?
3. Как работают многоступенчатые ракеты?
4. Когда был запущен первый искусственный спутник Земли?
5. Кто был человеком, впервые вступившим на поверхность Луны?
6. Что представлял собой «Луноход-1»?

Рис. 237. Объединённый экипаж «Союза» и «Аполлона»

Рис. 238. Запуск «Союза» ТМА-5 на Байконуре (14 октября 2004 г.)

Задания

1. Обсудите с одноклассниками предложенные ниже темы. Распределите их между собой. Подготовьте сообщение или презентацию по выбранной теме. Организуйте и проведите конференцию «История освоения космоса». Темы: «К. Э. Циолковский – пионер космонавтики и ракетной техники», «Первые спутники на орбите Земли», «Юрий Гагарин – первый космонавт планеты», «На поверхности Луны», «Исследование Солнечной системы», «Международные космические станции», «Перспективы развития космонавтики».

2. В нашей стране есть множество музеев, посвящённых космосу и его исследованиям. Именами К. Э. Циолковского, С. П. Королёва, Ю. А. Гагарина и других космонавтов названы институты и кратеры на Луне, улицы и космические корабли. Памятники и мемориальные доски, медали и марки – всё это напоминает нам о подвиге тех, кто открыл для нас космос. Проведите исследование и выясните, что в вашем городе, районе, области или крае связано с именами покорителей космоса. Отчёт о своём исследовании представьте в виде стенда или стенной газеты.

§ 71 Как сохранить изображение

О доблестях, о подвигах, о славе
Я забывал на горестной земле,
Когда твоё лицо в простой оправе
Перед мной сияло на столе.

Александр Блок

Сохранить увиденное

Сохранение увиденного тоже всегда было одной из насущных потребностей человека. Любое увиденное изображение спустя некоторое время начинает стираться из памяти. Поскольку человек воспринимает новые картины, на сетчатку глаза поступают новые сигналы, и вскоре от увиденного остаётся лишь расплывчатое и весьма неточное воспоминание. Редкое исключение составляют люди, обладающие феноменом *эйдетизма,* позволяющим удерживать и воспроизводить образ воспринятого ранее предмета, по своей наглядности и детальности почти не уступающий образу восприятия. Но даже такие люди способны удерживать далеко не все картины, которые им приходилось воспринимать в течение своей жизни, а большинство такой способностью вообще не обладают. Несомненно, что сохранение увиденного значительно обогащает личный опыт и способствует обучению нового поколения, не говоря уже о том, что это доставляет эстетическое удовольствие. Для того чтобы сохранить изображение, человек сначала научился рисовать. Первые рисунки делали ещё неандертальцы, а кроманьонцы уже покрывали ими все стены своих пещер. Проходили тысячелетия, но техника этого процесса не изменялась. Изображения всегда зависели от способностей художника и от его личного восприятия увиденного: они никогда не были точными. Каким же образом можно сохранять абсолютно точное изображение независимо от того, кто является его автором?

В начале XVIII в. было замечено, что некоторые соли способны под действием света менять свой цвет. Особенно

перспективным в этом отношении веществом оказались соли серебра. Однако прошло ещё сто лет, прежде чем химики догадались использовать этот эффект для создания изображения.

Прежде чем говорить о химических основах фотографии, обратим внимание на то, что, для того чтобы закрепить изображение на какой– либо поверхности, его сначала надо на ней сфокусировать. Как сделать так, чтобы изображение было точно отображено на поверхности? Сейчас для этого используют объективы, представляющие собой систему стеклянных линз. Однако первые изображения были получены без объективов и линз с помощью очень простого приспособления, которое называют камера-обскура (рис. 239, 240).

Рис. 239. Камера-обскура (общий вид)

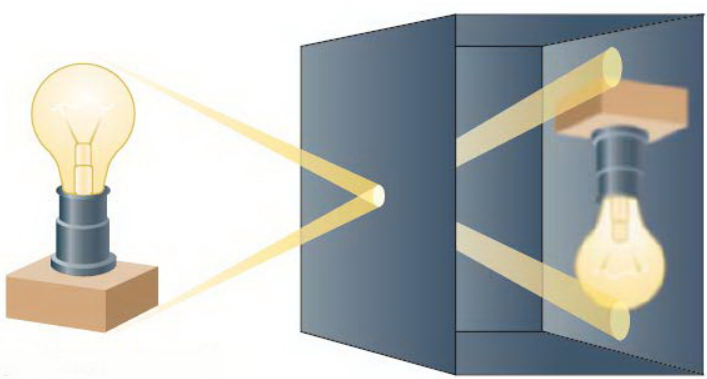


Рис. 240 Камера-обскура (схема)

Вам не составит труда изготовить самим такую камеру,

способ её создания вы найдёте в задании в конце этого параграфа.

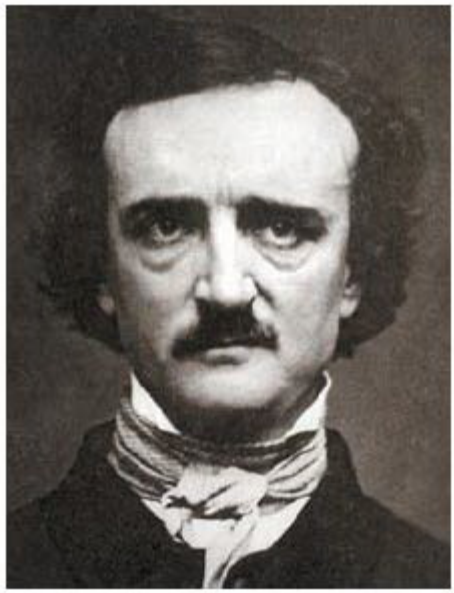


Рис. 241. С. У. Хартсхорн. Эдгар Аллан По. 1848 г. Дагеротип. Писатель, который страстно увлекался дагеротипами, позировал для этого портрета за год до своей смерти. В 1840 г. он писал: «По правде говоря, дагеротипная пластина воспроизводит несравненно более точно, чем картина, сделанная рукой художника»

В качестве химической основы для фиксации изображения использовали различные материалы, но в конце концов изобретатели остановились на азотнокислом серебре, называемом также ляписом. Первое сообщение о получении изображения на медной пластинке, покрытой серебром, было опубликовано в 1839 г. французским художником, химиком Жаком Дагером (1787–1851), который назвал своё изобретение дагеротипом (рис. 241).

Проявить и зафиксировать

Принцип получения серебряной фотографии заключается в следующем. На какую-либо твёрдую поверхность (стекло, бумагу или пластик) наносят тонкий слой вязкого вещества (долгое время это был желатин), содержащего взвесь кристаллов азотнокислого серебра ($AgNO_3$). После того как на эту

поверхность попадает сфокусированное изображение, в фоточувствительном слое начинают происходить химические изменения. Те кристаллы азотнокислого серебра, которые захватывают фотоны, разлагаются, образуя чистое металлическое серебро. Мелкие частицы серебра имеют чёрный цвет (вспомните чернение ювелирных изделий из серебра). Но эти чёрные частички слишком малы для того, чтобы можно было их увидеть. Поэтому засвеченную пластинку помещают в специальный раствор – *проявитель,* который усиливает процесс образования металлического серебра и делает чёрные точки видимыми. После этого участки, куда попало много света, будут содержать много чёрных точек и казаться тёмными, а те участки, куда свет не попал, останутся белыми. Затем с помощью специального раствора проводят *фиксирование* (закрепление), т. е. удаляют оставшееся азотнокислое серебро и получают изображение, которое называют негативным, потому что на нём все освещённые участки будут тёмными, а неосвещённые – светлыми. Для того чтобы получить нормальное, позитивное изображение, процесс надо повторить (в то время, когда такой способ широко использовался, это называлось «печатать фотографии»). Для этого через прозрачный негатив пропускают свет и снова проецируют изображение на светочувствительную поверхность. Тёмные участки становятся светлыми, а светлые – тёмными, и мы получаем позитивное изображение, которое выглядит точно так же, как и естественное.

Появление цвета

Фотография произвела переворот во многих областях человеческой деятельности – её использовали везде: от сохранения изображений близких людей до серьёзных научных исследований (рис. 242). Однако вскоре этого показалось мало. Ведь то, что мы видим в реальной жизни, имеет не только размеры и форму, не только светлые и тёмные участки, но и цвет. Требовалось создать такие фотоснимки, на которых изображение было бы цветным. Как это осуществить?

Вспомним, как воспринимает цвета человеческий глаз. Для восприятия цветного изображения в светочувствительной оболочке глаза (сетчатке) имеется три типа клеток-колбочек. Каждый из этих типов чувствителен к определённой длине волны света, которая и определяет ощущение цвета. Одни колбочки реагируют на красный цвет, другие – на синий, третьи – на зелёный. Сочетание этих цветов в определённой пропорции

способно вызвать ощущение любого цвета и даже любого цветового оттенка. Этот принцип и положили в основу цветной фотографии.

Рис. 242. Фотографии начала XX в.

Первое цветное изображение получил ещё в 1861 г. Джеймс Максвелл (тот самый, который создал электромагнитную теорию света). Он взял три фотокамеры и установил на каждой из них по одному светофильтру: красный, синий и зелёный. Получившиеся три снимка можно было спроецировать на один участок и таким образом наблюдать цветное изображение.

Рис. 243. Фотограф середины XIX в.

Однако такой метод был громоздок и неудобен, а потому практического применения не получил. Реальная возможность изготавливать цветные снимки появилась после того, как была усовершенствована система сенсибилизаторов. Дело в том, что даже при чёрно-белой фотографии используют ***сенсибилизаторы*** – вещества, которые ускоряют процесс превращения азотнокислого серебра в металлическое. До их появления при съёмках приходилось либо держать объектив открытым в течение очень долгого времени, либо использовать очень сильное освещение (либо и то и другое). На заре фотографии фотокамеры обязательно устанавливали на штативы, а фотографируемым людям ставили специальные подпорки для того, чтобы они могли долго стоять неподвижно (рис. 243). С появлением сенсибилизаторов стало возможным снимать быстрее и при более слабом освещении. Сначала это касалось только чёрно-белой фотографии. Однако в начале прошлого века изобрели сенсибилизаторы, каждый из которых был чувствителен либо к красному, либо к синему, либо к зелёному цвету, а в светочувствительный слой плёнки стали добавлять красители трёх видов.

Были предложены и другие усовершенствования. В результате в 1907 г. братья Люмьер (те самые, которые изобрели кинематограф) запатентовали и пустили в продажу цветные фотопластинки. Эти пластинки имели много недостатков

(нечёткое изображение, быстрое выцветание и пр.), однако пользовались спросом до 30-х гг., когда были вытеснены более совершенными технологиями изготовления цветных светочувствительных материалов.

Цифровая фотография

В настоящее время фотография, основанная на применении азотнокислого серебра, активно вытесняется цифровой фотографией, для получения которой используются информационные технологии. В основе работы цифрового фотоаппарата лежит светочувствительная матрица, элементами которой являются *пиксели,* мелкие ячейки, снабжённые линзами и светофильтрами. Пиксели преобразуют улавливаемый свет в электрический сигнал. Такие же матрицы используют в различных видах сканнеров, видео– и телевизионных камерах и пр. Преимущество цифровых фотоаппаратов перед плёночными заключается в том, что полученные снимки не требуют дополнительной обработки, их можно немедленно просматривать, редактировать, отправлять по мобильному телефону или электронной почте.

Проверьте свои знания

1. Что называют фотографической памятью?
2. Соли какого металла используют в фотографии?
3. Зачем при печати фотографий использовали процессы проявления и фиксирования? Как вы думаете, что происходило с фотографией, если её не фиксировали?
4. Фотографии с плёнок печатали при красном свете. Объясните, почему требовалось такое освещение.

Задания

1. Сделайте своими руками камеру-обскуру. Для этого возьмите небольшую коробку с плотными, не пропускающими свет стенками. Открытую часть коробки заклейте тонкой папиросной или промасленной бумагой, а в противоположной стенке проколите иглой маленькое отверстие. Направьте отверстие на какой-нибудь хорошо освещённый объект. На противоположной стенке, т. е. на тонкой бумаге, вы увидите

перевёрнутое, но чёткое изображение этого объекта.

2. Сохранились ли в вашей семье чёрно-белые фотографии, напечатанные с негативных плёнок, или ещё более старые фотографии, сделанные в конце XIX – начале XX в.? Рассмотрите их. Расспросите родителей, кто на них изображён. С разрешения родителей выберите несколько фотографий и вместе с одноклассниками организуйте фотовыставку «Веков связующая нить». Очень осторожно обращайтесь с фотографиями и обязательно верните их домой. Эти фотографии – история вашей семьи.

3. Возьмите красную, синюю, зелёную, чёрную и белую краски. Попробуйте, смешивая их, получить как можно больше других цветов и оттенков.

4. Вспомните материал курса «Человек и его здоровье». Опираясь на знания основ высшей нервной деятельности человека, объясните, чем принципиально отличаются рисунок и фотография. Почему рисунки одного и того же объекта, созданные разными художниками, будут отличаться друг от друга?

§ 72 Как создать движущееся изображение

Жизнь моя, кинематограф,
чёрно-белое кино!
Кем написан был сценарий?
Что за странный фантазёр
этот равно гениальный и
безумный режиссёр?
Как свободно он монтирует
различные куски
ликованья и отчаянья,
веселья и тоски!

Юрий Левитанский

Как вам уже известно, чёрно-белая фотография, получившая широкое распространение во второй половине XIX в., удовлетворила человечество не полностью. Одну из причин этой неудовлетворённости – отсутствие цвета – удалось окончательно решить в 30-х гг. XX в. Вторая же проблема заключалась в том, что фотографические изображения не могли передать движение, а значит, впечатление от сохранённого изображения было неполным. С этой проблемой удалось справиться даже значительно раньше, чем решить проблему цвета. Собственно говоря, и проблемы особой не было. С давних времён, ещё до новой эры, был известен стробоскоп – своего рода игрушка, позволяющая увидеть движущуюся картину. Если быстро перелистывать блокнот, нарисовав на уголках его страниц, например, человечка, постепенно поднимающего руки, то мы увидим, как блокнотный человечек реально будет двигать руками. Дело в том, что фоторецепторы являются довольно «медлительными» сенсорными клетками. Возбуждение в ответ на короткий световой раздражитель развивается в них 20–25 мс, а затем в течение такого же времени угасает. В течение всего этого времени (около 50 мс, 0,05 с) рецепторы не могут воспринять новое изображение. Поэтому, если зрительные стимулы меняются с частотой более 20 Гц (более 20 изображений в секунду), они начинают сливаться. Ответ на очередной стимул суммируется с ответами на предыдущий и последующий стимулы. В результате дискретный (мигающий) сигнал начинает восприниматься как непрерывный. Поэтому, если человеку показывать картинки, чуть-чуть отличающиеся друг от друга с интервалом не более 0,05 с,

он не заметит пустоты между картинками и будет воспринимать их смену как непрерывное плавное движение.

Рождение кинематографа

Поскольку к моменту изобретения фотографии о стробоскопе знали все, то догадаться, как заставить фотографическое изображение двигаться, было не так уж трудно. Просто надо сделать много фотографий движущегося предмета подряд с большой частотой, а затем точно так же быстро показывать их одну за другой, вставляя между ними тёмный кадр, чтобы изображение не было смазанным. Идея была проста, но осуществить её оказалось непросто. Прежде всего требовалось, чтобы съёмка производилась быстро, а для этого нужна была гибкая плёнка с высокой чувствительностью. Такая плёнка появилась в 70-х гг. XIX в., но и после этого кинокамера была создана не сразу (рис. 244). Самую совершенную для того времени аппаратуру удалось сконструировать братьям Луи и Огюсту Люмьер.

Рис. 244. Одна из первых кинокамер

Они назвали своё устройство кинематографом (или синематографом) и стали демонстрировать фильмы широкой публике. Правда, в качестве фильмов выступали короткие эпизоды кинохроники, показ которой братья полагали целью

своего изобретения. Первая публичная демонстрация состоялась в Париже в 1895 г.

Вскоре кинематографом заинтересовался директор одного из парижских театров Жорж Мельес, которому пришла в голову мысль снимать художественные фильмы по написанным сценариям и который стал одним из основоположников кино как особого вида искусства (рис. 245).

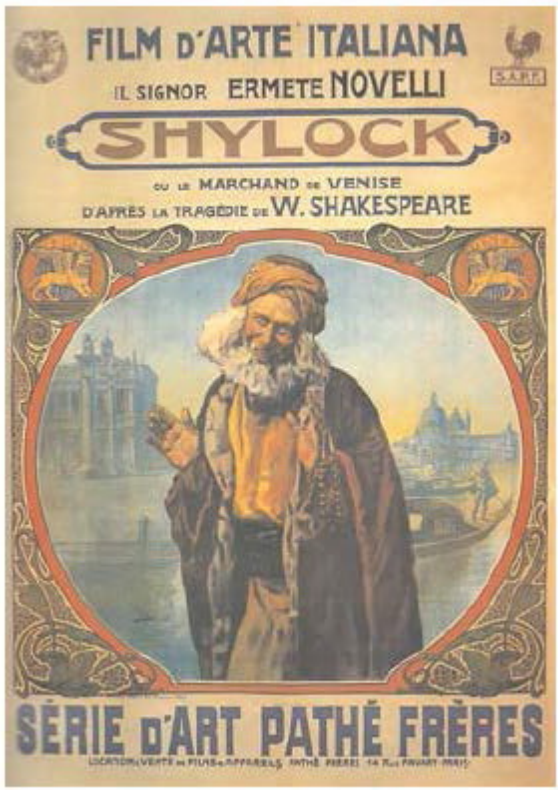


Рис. 245. Рекламная афиша одного из первых немых фильмов

Принцип создания изображения

Съёмка и проекция кинофильмов осуществляются по одному и тому же принципу. Во время съёмки на плёнку фиксируется одно мгновенное изображение (кадр), затем объектив перекрывается заслонкой, которая называется *обтюратором,* а за это время плёнка сдвигается на один кадр. Потом обтюратор открывается, и снимается следующий кадр. В современных кинокамерах съёмка производится со скоростью 24 кадра в

секунду, так что один кадр снимается в течение $^1/_{48}$ секунды и в течение такого же времени продолжается затемнение. Демонстрация кинофильма происходит по такому же принципу. Зритель в течение $^1/_{48}$ секунды видит кадр, затем в течение $^1/_{48}$ секунды экран становится тёмным, а потом обтюратор снова открывается и на экране возникает новый кадр. Такое быстрое чередование изображения и тёмного кадра человеком не воспринимается, и зрителю кажется, что он видит на экране реальное и плавное движение. Существует распространённое мнение, что если между кадрами кинофильма кое-где вставлять 25-й кадр, содержащий побуждение к какому-либо действию, например рекламу, то зритель станет «подсознательно» реагировать на его содержание и начнёт действовать соответственно. Это утверждение – не более чем интригующая легенда. При частоте проекции кинофильма, равной 24 кадра в секунду, лишний кадр будет заметен как нечто инородное. Содержания его никто не воспримет, так что убеждающее действие будет нулевым, зато постороннее мелькание будет вызывать раздражение, которое может отрицательно сказаться на людях с не очень устойчивой психикой. Что же касается использования 25-го кадра для зомбирования по телевидению, то эта точка зрения вообще не имеет смысла, так как техника телевизионной демонстрации принципиально отличается от техники показа фильмов на киноэкране.

Звуковое кино

И всё-таки даже в таком виде кино ещё не могло полноценно отражать реальный мир. Во-первых, оно пока оставалось чёрно-белым, а во-вторых, и это самое главное, оно было беззвучным. В течение долгого времени кино так и называли – «Великий немой». По поводу того, стоит ли заставить этого немого заговорить, существовали разные мнения. Против звукового кино выступали известные актёры, в том числе Чарли Чаплин. Они полагали, что появление звука в кино лишит его той выразительности мимики и движений актёров, которые и составляют главную особенность кино как вида искусства. Были проблемы и технического характера, в первую очередь синхронизация звука и изображения. Кроме того, в то время ещё не были изобретены усилители, достаточно мощные для того, чтобы звук был хорошо слышен в зрительном зале. Даже после того как эти трудности были разрешены, кинокомпании не решались на выпуск звуковых фильмов, опасаясь сильного удорожания их производства и

потери иностранных рынков. В результате, хотя патент на звуковой кинематограф был получен в 1919 г., первый художественный звуковой фильм вышел на экраны только в 1922 г. Находящаяся на грани банкротства кинокомпания «Warner brothers» решилась на рискованный эксперимент.6 октября 1927 г. – день премьеры фильма «Певец джаза» – принято считать днём рождения звукового кино, потому что именно этот фильм имел особый успех у зрителей. После этого говорящее кино в самое короткое время завоевало широкую популярность. Первый советский звуковой фильм «Путёвка в жизнь» появился на широком экране в 1931 г.

Несмотря на многочисленные варианты звукозаписи в кино, её техника в общих чертах выглядела так. Сопровождающие показ фильма звуки (речь, музыка, шумы) с помощью микрофона преобразовывались в переменный электрический ток с частотой, повторяющей частоту и амплитуду звуковых колебаний. Этот ток заставлял синхронно колебаться источник света, а световые колебания фиксировали на киноплёнке и синхронизировали с кадрами изображения. При воспроизведении звука с помощью фотоэлемента считывали звуковую дорожку, преобразовывали её в колебания электрического тока, которые усиливались, обрабатывались с помощью фильтров и преобразовывались в звуковые колебания.

Цветное кино

Приблизительно в тот же период, когда создавалось звуковое кино, предпринимались многочисленные попытки раскрасить картинку на экране, т. е. сделать кино цветным. Первый цветной фильм был выпущен ещё в 1911 г., но в нём использовалось только сочетание красного и зелёного цветов, а синий компонент ещё отсутствовал. Настоящий полнометражный и полноценно цветной фильм вышел в США в 1935 г., этот год и считается годом появления цветного кино. А уже в 1936 г. появился первый советский цветной фильм. Интересно, что ещё до появления настоящего цветного кино некоторые фильмы пытались раскрашивать вручную. Так, всемирно известный фильм «Броненосец «Потёмкин»», снятый в 1925 г., был, конечно, чёрно-белым. Но в эпизоде, когда над кораблём поднимают красный революционный флаг, этот флаг был действительно красным – его раскрасили на плёнке кисточкой вручную (рис. 246). Эффект, разумеется, был ошеломительным.

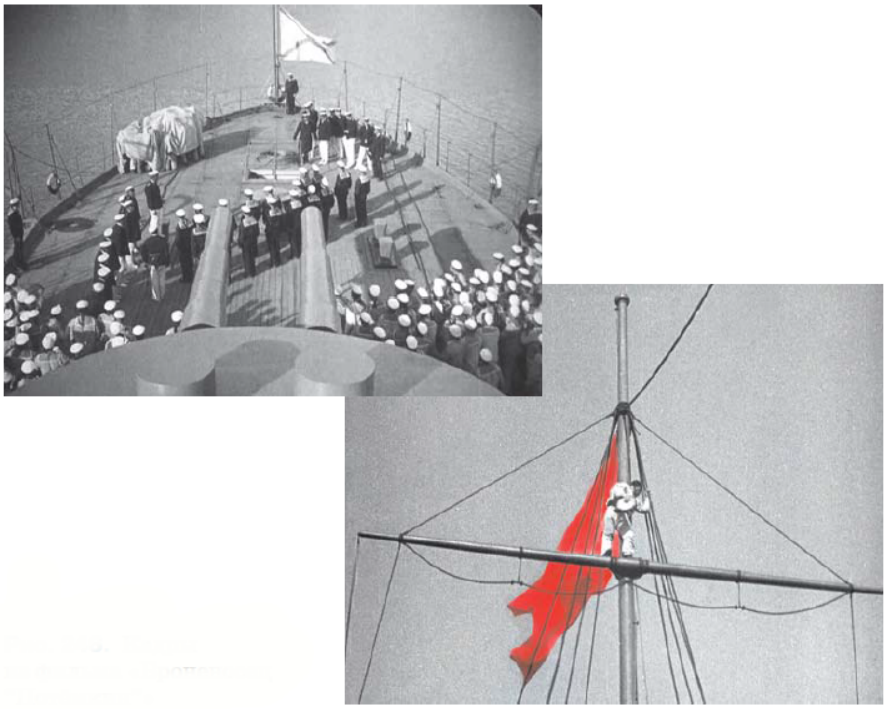


Рис. 246. Кадры из фильма «Броненосец «Потёмкин»»

Цифровое кино

С начала нашего века началась эпоха цифрового кино. Этот способ съёмки и демонстрации кинофильмов использует вместо киноплёнки цифровые устройства подобно тем, о которых мы говорили, изучая лазеры. Для съёмки фильмов используют специальные цифровые камеры, которые преобразуют изображение и звук в цифровой формат, в котором каждой точке изображения соответствует двоичное число (рис. 247). Полученный материал обрабатывают с помощью специальных программ на мощных компьютерах.

Рис. 247. Современная цифровая видеокамера

В дальнейшем демонстрацию кинофильмов лучше всего проводить на цифровом кинопроекторе, но в тех случаях, когда кинотеатры не оснащены таким оборудованием, можно перенести сделанное в цифровом формате изображение на обычную киноплёнку. По тому же принципу, но с менее совершенными техническими характеристиками работают и бытовые любительские цифровые видеокамеры.

Проверьте свои знания

1. Что такое стробоскоп?
2. Какая особенность зрительного анализатора человека позволила появиться кинематографу?
3. Когда и где состоялась первая публичная демонстрация кинофильма? Кто был его создателем? Знаете ли вы, какой сюжет кинохроники был показан первым?
4. Что такое обтюратор? Зачем он используется при съёмке и проекции фильмов?
5. Выделите и назовите основные этапы развития кинематографа.

Задания

1. Сделайте собственный «стробоскоп» из блокнота или толстой тетради.
2. Используя дополнительную литературу и ресурсы Интернета, подготовьте презентацию или сообщение на одну из

тем: «История появления кинематографа», «Возможности современного кино», «3D-кино», «Кино в будущем».

3. Вместе с учителем и одноклассниками организуйте просмотр немого фильма начала XX в. Обсудите увиденный фильм. Сравните его с современными произведениями кинематографии. Какие критерии вы выбрали для сравнения? Есть ли параметры, по которым немой фильм превосходит современное искусство?

§ 73 От арифмометра к персональному компьютеру

– Подежурьте за меня, а я сбегаю на полигон.

……

– Идите, Привалов, – сказал Витька. – Это будет вам стоить четыре часа машинного времени.

– Два, – сказал я быстро. Я ждал чего-нибудь подобного.

– Пять, – нахально сказал Витька.

– Ну три, – сказал я. – Я и так всё время на тебя работаю.

– Шесть, – хладнокровно сказал Витька.

……

– Ладно уж, – сказал Витька. – Иди даром. Два часа меня устроят.

Аркадий и Борис Стругацкие. Понедельник начинается в субботу

Как вам уже известно, в 40-х гг. XX в. появилась новая наука, названная кибернетикой, т. е. наукой об управлении. Задачами кибернетики были исследования процессов регуляции и управления в самых различных системах, независимо от их физической, химической или биологической природы. Причём эти исследования должны были сопровождаться точными математическими расчётами. Поскольку расчёты предполагались очень сложные, для их проведения требовалась разработка вычислительной техники. Напомним, что всё это было задолго до появления простейшего карманного калькулятора, а вершиной вычислительной техники был ***арифмометр,*** который умел производить четыре арифметических действия, если долго крутить его ручку (рис. 248).

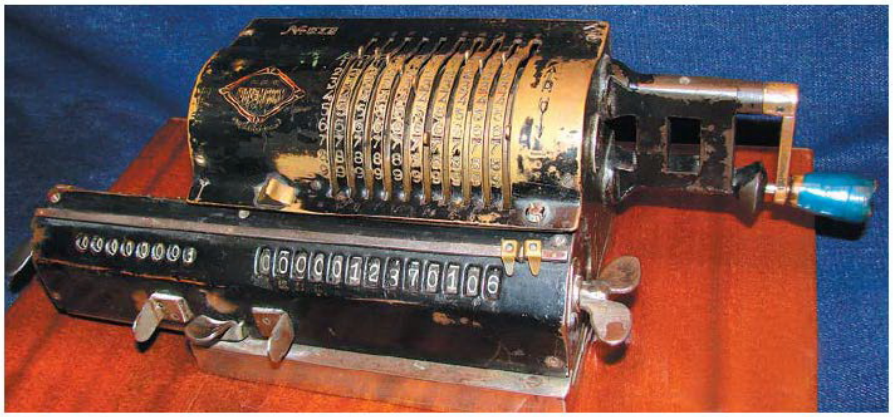


Рис. 248. Арифмометр

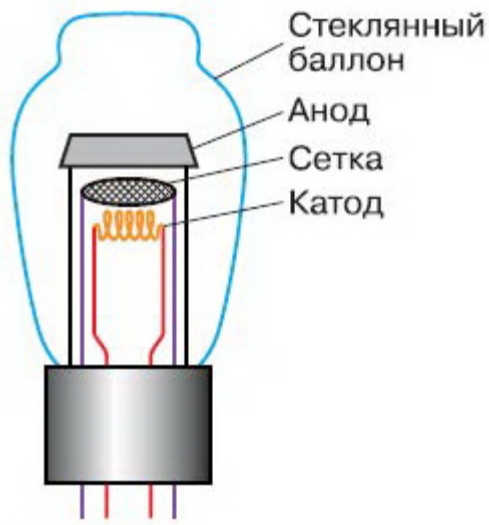


Рис. 249. Схема триода

Интенсивная разработка вычислитель ной техники началась в 30-х гг. XX в. Первые модели были механическими, затем при их конструировании стали использовать электронные лампы и электромагнитные реле. Для того чтобы представить себе масштабы первых вычислительных машин, поясним вкратце, что представляли собой эти устройства. Электронная лампа *(диод)* – это колба с откачанным из неё воздухом, похожая на обычную электрическую лампочку. Кстати, размеры она имела примерно такие же. В колбу были впаяны два электрода – катод и анод. Катод нагревали током накала, под действием которого он испускал электроны. Когда на электроды подавалось напряжение, электроны двигались от катода к аноду, таким образом в лампе возникал электрический ток. В обратном направлении ток,

естественно, течь не мог, поэтому диоды использовали в качестве выпрямителей – устройств, пропускающих электрический ток только в одном направлении. Существовал ещё один вид электронных ламп – *триоды* (рис. 249). В них дополнительно присутствовала ещё и сетка, на которую можно было подавать положительный электрический потенциал. Сетка притягивала отрицательные электроны и тем самым усиливала катодный ток. Такие лампы применяли для усиления электрических сигналов. Для хранения информации использовали электромагнитные реле. Реле состояло из электромагнитной катушки и пружинки. Когда по катушке протекал электрический ток, пружинка притягивалась к сердечнику и замыкала (или размыкала) некий контакт, когда же тока не было, пружинка отлипала и возвращала реле в прежнее положение. Легко понять, что такое устройство могло хранить 1 бит информации при размере в несколько сантиметров и весе в несколько десятков граммов.

Неудивительно, что таким размерам деталей соответствовали габариты выпускавшихся в то время компьютеров, их называли ***электронно-вычислительными машинами (ЭВМ).*** Тем более что электронные лампы стали использовать не сразу, и первые ЭВМ работали только на реле. Так, одна из наиболее прогрессивных ЭВМ, созданная в 1946 г., содержала 9 тыс. реле, занимала площадь 90 м^2 и весила 10 т. Первые ЭВМ, в которых стали использовать электронные лампы, значительно превосходили релейные устройства по скорости вычислений, но мало уступали им в массе и размерах. В 1948 г. была продемонстрирована первая ламповая ЭВМ ENIAK, сделанная по заказу армии США, которая содержала 18 тыс. электронных ламп, занимала площадь 90 х 15 м^2, весила 30 т и потребляла 150 кВт электроэнергии (рис. 250). ENIAK выполняла операции сложения за 0,2 мс, а умножения – за 2,8 мс, что в тысячу раз превышало скорость работы релейных машин.

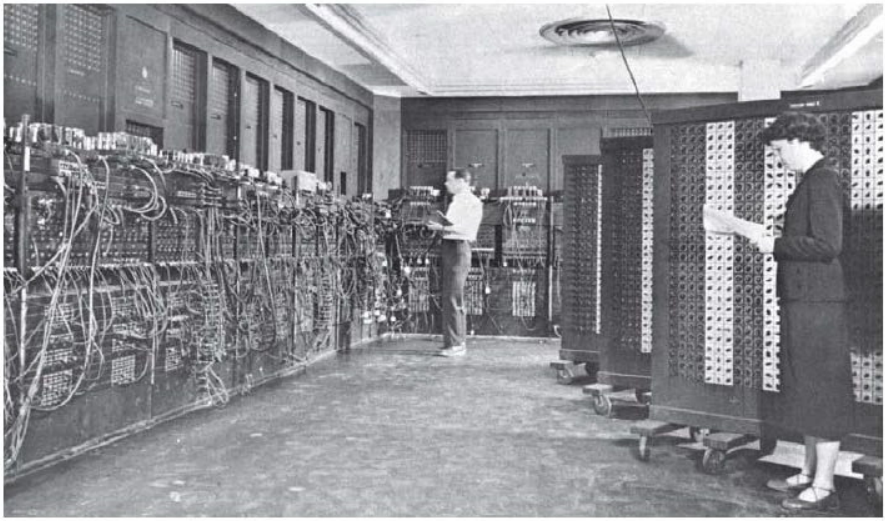


Рис. 250. ЭВМ ENIAK

Технологии 50-х гг. XX в. уже не могли обойтись без использования ЭВМ. Без них невозможно было рассчитать ни динамику протекания ядерных реакций, ни траектории космических ракет. Однако работа с компьютерами требовала больших издержек и усилий. Стоили они очень дорого, занимали огромное пространство, и их должны были обслуживать специалисты с высоким уровнем подготовки – программисты. Машинная обработка каждой задачи занимала очень много времени. Ввиду высокой дефицитности этого времени ЭВМ работали обычно круглосуточно. Каждому сотруднику, которому требовалось произвести какие-либо вычисления, выделялось «машинное время» в вычислительном центре, который имелся во всех крупных институтах. Для того чтобы выполнить расчёты, требовалось перевести конкретную задачу на определённый машинный язык и забить её на перфокарту или перфоленту – картонное устройство, в котором в определённом порядке пробивались дырки, через которые происходило замыкание электрических контактов (рис. 251). Поэтому каждая вычислительная машина дополнительно требовала ещё и перфоратора – машинки для пробивания дырок. Кстати, следует заметить, что машинные языки всё время совершенствовались и сменяли друг друга.

К середине 50-х гг. усовершенствование ламповых ЭВМ приблизилось к своему пределу. Тогда начались работы по производству ***транзисторных компьютеров.***

Рис. 251. Перфолента

Транзистор – это устройство, которое выполняет в принципе те же функции, что и электронные лампы, т. е. выпрямление и усиление электрического тока, но не сравнимо с ними по размерам. В основе работы транзистора лежат полупроводники, о которых мы уже говорили в главе 2. Полупроводники занимают промежуточное положение между проводниками и диэлектриками и могут менять своё электрическое сопротивление в зависимости от температуры и действующего на них электрического поля. Ввиду того что многие химические элементы и соединения (например, кремний) по самой своей природе являются полупроводниками, их кристаллы, обладающие микроскопическими размерами, можно использовать вместо громоздких электронных ламп. Первая машина, работавшая преимущественно на транзисторах, была изготовлена в 1958 г., в ней было 56 тыс. транзисторов, но всё ещё 440 электронных ламп. Превосходя ENIAK по компактности, она значительно уступала ему по быстродействию.

Однако настоящий прорыв в электронной технике был совершён после введения в употребление *интегральных схем* или *микросхем*. Если раньше детали электронной системы (транзисторы, сопротивления, конденсаторы) располагались порознь на отдельных платах, то теперь был разрешён вопрос, как

в минимум места вместить максимум компонентов. Независимо друг от друга две фирмы догадались разместить все эти детали на одном монолитном кристалле из полупроводникового материала – германия или кремния. Патент на изготовление таких микросхем был выдан в 1959 г.

С применением микросхем размеры электронных приборов от ЭВМ до телефонов стали стремительно уменьшаться. Одним из определяющих факторов, влияющих на размер схемы и скорость проведения в ней сигнала, является величина, называемая *линейным разрешением,* которая определяется минимальным размером элементов и расстояний между ними. За последние 20 с небольшим лет эта величина уменьшилась примерно в 100 раз. Если в первых персональных компьютерах, созданных в 80-х гг. XX в., она составляла 1–3 мкм, то в скором будущем предполагается довести её до 10 нм. Помимо уменьшения размеров новые технологии позволили во много раз повысить скорость работы вычислительных машин. Если для осуществления одной операции первым электронным ЭВМ требовалось порядка0,001 с, то современные компьютеры справляются с этой задачей менее чем за одну триллионную долю секунды (0, 000 000 000 001 с).

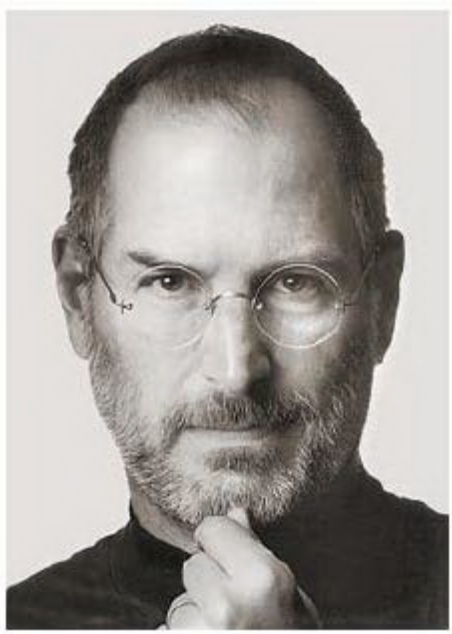


Рис. 252. Стивен Джобс

Появление интегральных схем привело к идее создания ***персональных компьютеров.*** Первый такой компьютер был

собран двумя молодыми американскими техниками Стивеном Джобсом (1955–2011) и Стивеном Возняком в 1976 г. в своём гараже (рис. 252). Они назвали его «яблоком» (Apple). Впоследствии это название закрепилось за фирмой (Apple Macintosh). Испугавшись конкуренции, фирма IBM активно взялась за разработку нового типа компьютерного процессора и в 1981 г. представила свой персональный компьютер, который так и назывался IBM PC. Через два года фирма выпустила новую модель PC XT с жёстким диском – винчестером ёмкостью (теперь это кажется смешным!) 10 Мбайт, а ещё через год появился новый тип персонального компьютера – AT, который превосходил по производительности предыдущую модель в 5 раз. Началась эпоха персональных компьютеров, в ходе которой возникли ноутбуки, смартфоны, всякого рода навигаторы и прочие чудеса, за которые ещё пятьдесят лет назад даже писателей-фантастов обвинили бы в избытке фантазии.

Проверьте свои знания

1. Что побудило человечество заняться интенсивной разработкой вычислительной техники?
2. Каков был принцип работы ЭВМ первого поколения?
3. В чём сказалось преимущество ЭВМ, работавших на электронных лампах?
4. Что представляет собой микросхема? Почему использование микросхем позволило совершить прорыв в развитии электронной техники?
5. Каковы современные достижения фирм IBM и Apple Macintosh?

Задания

Зайдите на сайт http://computer-museum.ru (Виртуальный компьютерный музей). Выберите интересующий вас раздел, сформулируйте тему и подготовьте сообщение или презентацию.

Предложите собственную классификацию компьютерной техники, существующей в настоящее время. Какие критерии вы выбрали для создания этой классификации?

§ 74 От вычислительной машины к искусственному интеллекту

Робот никогда не заменит человека!

Людоедская классика

Что такое интеллект

Вопрос о возможности создания искусственного интеллекта в первую очередь упирается в определение самого понятия «интеллект». В некоторых случаях под этим словом понимают способность к разумному рассуждению, к умению правильно применять законы логики и математики. Согласно другому мнению, понятие интеллекта является более широким и включает в себя интуицию, способность использовать для решения задачи ассоциации из совершенно других областей знаний и использование решений, формально противоречащих логике, но дающих требуемые результаты. В современных исследованиях этот термин обычно используется в первом смысле. Существует даже мнение, что в русском и английском языках это понятие используют по-разному. Искусственный интеллект – это одна из новейших областей науки. Первые работы в этой области начались после Второй мировой войны, а само её название было предложено в 1956 г. Искусственный интеллект – это компьютерная наука, а создаваемые ею технологии являются информационными технологиями. Задача этой науки – создание искусственных технических устройств, способных к разумным рассуждениям и действиям. Важным отличием устройств, обладающих искусственным интеллектом, от обычных компьютеров должна быть их способность не только использовать заложенные в них программы, но и способность видоизменять эти программы и создавать новые для решения очередных задач.

История создания искусственного интеллекта

Проблема создания искусственного интеллекта имеет древнюю историю. Она начинается задолго до появления даже самых примитивных ЭВМ и основана на вере человека в научно-технический прогресс, а ещё раньше – в силу магии. Первыми

носителями искусственного интеллекта были античные или средневековые создания вроде сделанных из золота девушек, которые прислуживают Гефесту в «Илиаде»:

Навстречу ему золотые служанки Вмиг подбежали, подобные девам живым, у которых Разум в груди заключён, и голос, и сила, которых Самым различным трудам обучили бессмертные боги.

Существует также много средневековых легенд о чудовище, созданном Франкенштейном, глиняном великане Големе и др. Сразу надо обратить внимание на то, что эти «искусственные интеллектуалы» не являлись мыслящими существами в полном смысле слова. Они были запрограммированы на выполнение заданий определённого типа. Первые механические счётные машины тоже считали в какой-то степени интеллектуальными системами. В 1642 г. **Блез Паскаль** создал механическую вычислительную машину, о которой писал, что «арифметическая машина производит эффект, который кажется более близким к мышлению по сравнению с любыми действиями животных», а Лейбниц пытался создать механическое устройство, которое могло бы выполнять операции не только над числами, но и над понятиями.

Фантазия писателей очень часто способна опережать действительность. В 1921 г., задолго до появления первых примитивных ЭВМ чешский писатель-фантаст Карел Чапек пишет фантастическую пьесу «R.U.R.», где описывается корпорация, производящая человекоподобные устройства для выполнения любых работ. Чапек назвал их роботами, и это слово навсегда вошло в наш обиход.

В 1950-х гг. проблема создания мыслящих машин стала активно обсуждаться, так как стали появляться первые ЭВМ. Одним из первых, кто всерьёз пытался заняться этим вопросом, был английский математик и логик Алан Тьюринг (1912–1954). Хотя Тьюринг скончался до появления первых ЭВМ, он успел много сделать для теоретических предпосылок создания искусственного интеллекта. Его основные соображения по этому вопросу были изложены в статье «Может ли машина мыслить?», опубликованной в 1951 г. Для того чтобы точно определить смысл выражения «мыслить», Тьюринг предложил критерий, ставший хорошо известным под названием «тест Тьюринга». Тест состоит в следующем.

> *«Человек взаимодействует с одним компьютером и одним человеком. На основании ответов на вопросы он должен определить, с кем он разговаривает: с человеком или компьютерной программой. Задача компьютерной*

программы – ввести человека в заблуждение, заставив сделать неверный выбор».

Естественно, спрашивающий не видит своих собеседников. Если после любого количества вопросов он не найдёт способа определить, кто из его собеседников человек, а кто – машина, значит, данная машина действительно умеет мыслить.

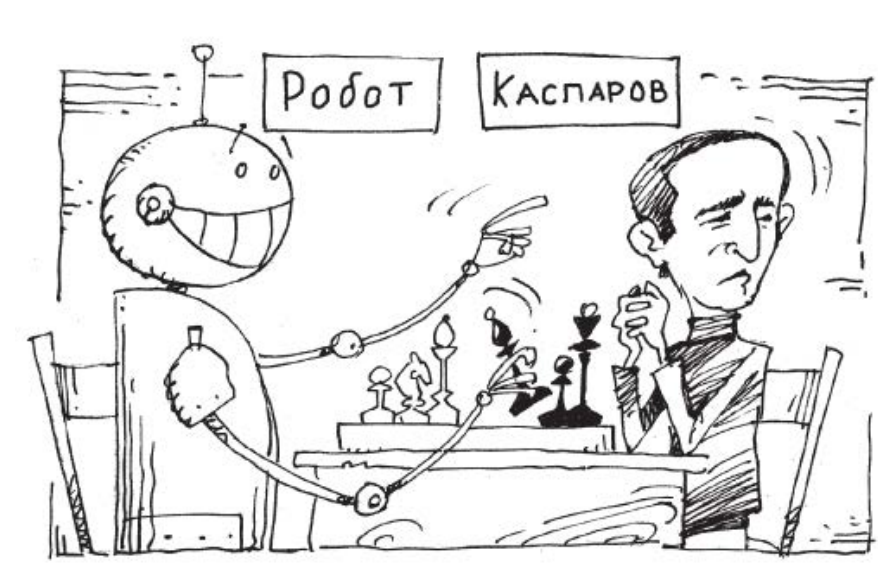
Создание такой машины – дело будущего, возможно далёкого, но, учитывая современные темпы развития техники, не исключено, что и ближайшего.

Пока мы имеем дело с устройствами, чья работа напоминает интеллектуальную, но всё же, по сути, сводится к сравнениям и вычислениям, хотя и оперирующим огромным объёмом информации и производимым с огромной скоростью. «Думающая» машина обязательно обладает базой данных и базой знаний. В первую заносятся все факты, числа, изображения, звуки и всё прочее, что может иметь хоть какое-то отношение к области деятельности системы. В базе знаний хранятся всевозможные логические, математические и ассоциативные правила и программы, с помощью которых можно оперировать этими фактами. Полученные результаты сравниваются с другими фактами, находящимися в базе данных, или с сигналами, поступающими из внешней среды в ответ на действия, совершённые в результате работы машины. В зависимости от результата запускается новый цикл работы компьютера. Можно ли считать такую деятельность интеллектом?

Рис. 253. Матч Каспаров компьютер

Шахматы и компьютер

Для примера рассмотрим популярную тему, касающуюся шахматных компьютеров. Способен ли шахматный суперкомпьютер обыграть лучшего гроссмейстера? В своё время, находясь в прекрасной спортивной форме, тогдашний чемпион мира Гарри Каспаров (род. 1963) провёл несколько серий матчей с шахматными компьютерами (рис. 253). В 1980-х гг. он легко выигрывал все партии. Но через десять лет чемпион мира впервые проиграл матч компьютеру. Последующие матчи сводились в основном к ничейным результатам. Можно ли на этом основании говорить, что интеллект компьютера превышает или, во всяком случае, равен интеллекту Каспарова? Сомнительно, учитывая, что программа, с которой играл Каспаров в 2003 г., способна оценить 3–4 млн позиций в секунду. Обладай Каспаров такой же скоростью счёта, у машины вряд ли были бы шансы. Ведь программу для машины составлял человек, вероятно, талантливый шахматист, но всё-таки уступающий чемпиону мира. Так что, скорее всего, мы имеем дело не с искусственным интеллектом, а с такими техническими преимуществами, как лучшая память и большая скорость.



Вот если бы компьютер догадался стащить с доски ферзя в то время, когда Каспаров отвернулся, это уже можно было бы назвать проявлением интеллекта.

Есть ли у компьютера дедукция

Вообще, по мнению многих исследователей, искусственный интеллект должен обладать способностью к дедукции, т. е. к предсказанию таких фактов, событий и решений, которых не было в его базах. Писатели-фантасты часто обсуждают тему полного отсутствия у роботов чувства юмора. Это понятно: суть юмора сводится к тому, что рассказ о каком-либо эпизоде завершается не путём ожидаемой, а путём особенной, нестандартной логики. Если такая логика не заложена создателем программы, то робот завершит рассказ в соответствии с нормальной логикой, и в этом не будет ничего смешного.

В последнее время широко обсуждается и исследуется проблема сращивания естественного и искусственного интеллектов, т. е. возможность создания некоего гибрида живого мозга человека и компьютера, обладающего огромным объёмом памяти и способностью к молниеносному проведению логических и математических операций. Это направление может иметь большие перспективы, учитывая, что в опытах на животных уже получены некоторые интересные результаты. Мы ещё вернёмся к этой теме в последнем параграфе учебника.

Проверьте свои знания

1. Кто является автором слова «робот»?
2. В чём заключается тест Тьюринга? Попробуйте придумать такие вопросы, по ответам на которые, по вашему мнению, можно различить человека и компьютер. Объясните, какую разницу вы ожидаете услышать в ответах.
3. Почему выигрыши шахматного компьютера у чемпиона мира необязательно свидетельствуют о более высоком интеллекте у компьютера?
4. Сравните понятия «робот» и «искусственный интеллект». Почему между ними нельзя поставить знак равенства?
5. Где, по вашему мнению, использование искусственного интеллекта особенно актуально? Объясните свою точку зрения.

Задания

1. Вспомните и приведите примеры из художественных произведений описаний искусственного интеллекта. Проанализируйте, можно ли это считать действительно проявлениями интеллекта.
2. Используя дополнительную литературу и ресурсы

Интернета, подготовьте сообщение на тему «Искусственный интеллект. Настоящее и перспективы».

3. Приведите примеры использования роботов. В каких областях народного хозяйства они в настоящее время применяются наиболее широко?

4. Подготовьтесь к дискуссии на тему «Мозг человека и ЭВМ».

§ 75 Наночастицы и перспективы нанотехнологий

– Если бы, – говорит, – был лучше мелкоскоп, который в пять миллионов увеличивает, так вы изволили бы, – говорит, – увидать, что на каждой подковинке мастерово имя выставлено: какой русский мастер ту подковку делал.

Н. С. Лесков. Левша

Нанотехнология – это относительно новая область теоретических и прикладных междисциплинарных исследований, объектом которой являются частицы, имеющие размеры от 1 до 100 нм. Это больше, чем размер атомов или неорганических молекул, но значительно меньше, чем размеры объектов, которыми принято оперировать в обычной технике (рис. 254). Такие частицы обладают целым рядом свойств, отличных как от свойств атомов и небольших молекул, так и от свойств крупных частиц.

Для практических целей важно, чтобы наночастицы располагались в строго определённом порядке и образовали структуру с требуемыми свойствами. Мы уже рассматривали естественные наноструктуры, когда говорили об устройстве живой клетки. Клетка состоит из огромного числа атомов и молекул, и при этом недостаточно, чтобы просто соблюдалось общее количество атомов и молекул каждого вида и пропорциональное соотношение между ними. Для того чтобы клетка могла жить, требуется, чтобы все атомы в молекулах были расположены с строго определённом порядке. Достаточно поменять местами несколько нуклеотидов в молекуле ДНК, и клетка окажется нежизнеспособной. А поскольку размеры крупных органических молекул в клетке как раз соответствуют размерам наночастиц, то процессы самоудвоения ДНК, синтеза белка и деления клетки, по сути, являются нанотехнологиями, осуществляемыми самой природой.

Другим рассмотренным нами примером нанотехнологии, но уже осуществляемой искусственно, является создание электронных интегральных микросхем, где расположенные в строгом порядке элементы имеют размеры порядка нескольких десятков нанометров, т. е. как раз представляют собой

наночастицы.

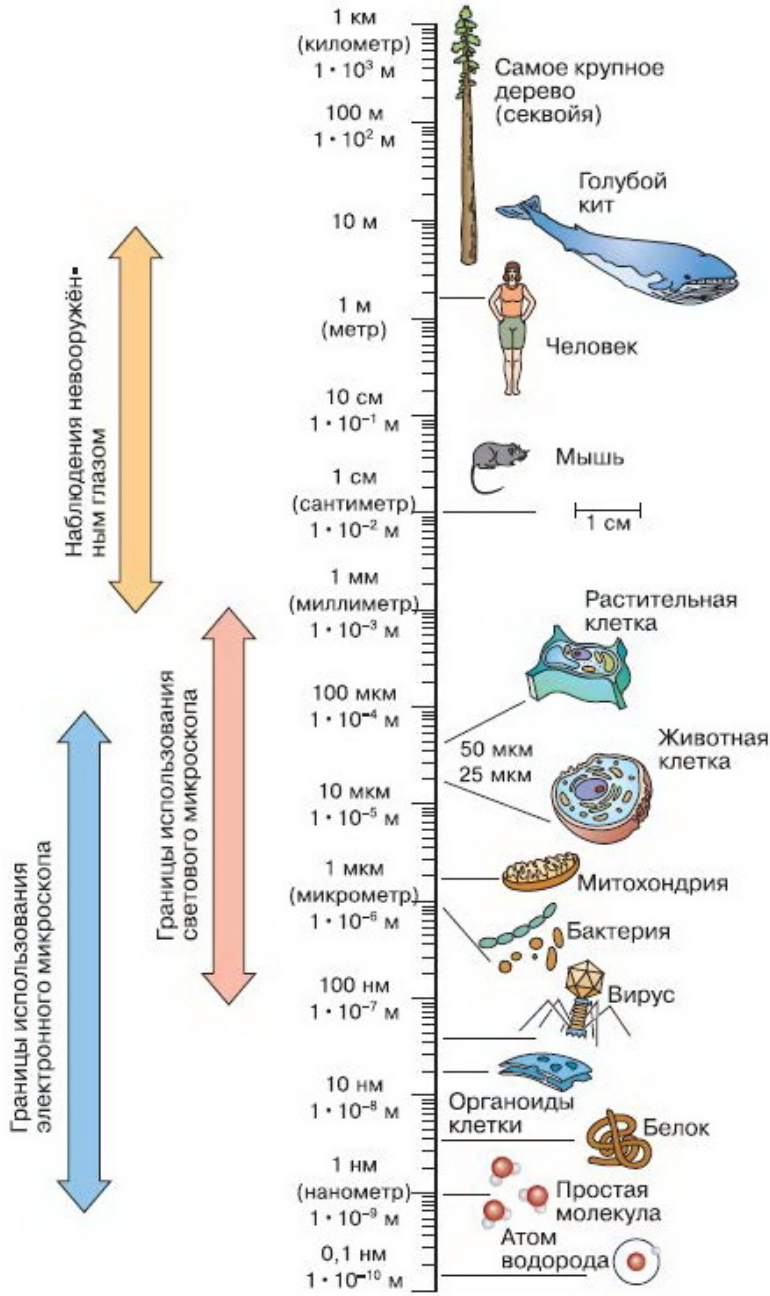


Рис. 254. Размеры некоторых биологических объектов и молекул (логарифмический масштаб)

В настоящее время нанотехнология считается одним из самых перспективных направлений научно-технического развития

человечества.

Рис. 255. Ричард Фейнман (1918–1988) – американский физик, лауреат Нобелевской премии по физике 1965 г.

История появления нанотехнологии

Впервые термин «нанотехнология» употребил в 1974 г. японский физик Норио Тани гути. Однако о возможности применения нанотехнологий заговорили гораздо раньше. В 1959 г. американский физик Ричард Фейнман (рис. 255) опубликовал работу, в которой оценил перспективы уменьшения размеров производимых вещей. Он научно обосновал, что с точки зрения фундаментальных законов природы нет препятствий для того, чтобы собирать предметы из отдельных атомов и использовать их, например, для записи информации. Лекция Фейнмана «Там, внизу, много места» («There's Plenty of Room at the Bottom»), прочитанная им в Калифорнийском технологическом институте, стала легендарной. Вот отрывок из этого выступления: «По моим оценкам, в 24 миллионах книг размером с Британскую энциклопедию содержится 10^{15} бит информации. Думаю, что для хранения бита информации достаточно 100 атомов. Выходит, что вся собранная человечеством информация может храниться в кубе с гранями всего по полмиллиметра, т. е. в крохотной частичке пыли, едва различимой человеческим глазом. Так что внизу много места!»

Тогда многие восприняли его слова как фантастику. Ведь в то время ещё не существовало ни самих технологий, ни даже их проектов, позволяющих оперировать с отдельными атомами.

Главная проблема нанотехнологии заключается в том, чтобы найти способ заставить молекулы выстраиваться в определённом порядке, т. е. самоорганизовываться требуемым способом. Для решения этой проблемы был даже создан особый раздел химии – супрамолекулярная химия. Часто в нанотехнологии используют биологические крупные молекулы, по самой своей природе способные к самоорганизации. Известен, например, приём, используемый для соединения двух молекул в требуемый комплекс. Назовём эти молекулы А и В. Берётся молекула ДНК и разделяется на две взаимно комплементарные цепочки. К концу одной цепочки присоединяют молекулу А, а к другой – В. Затем оба компонента смешивают, комплементарные цепочки ДНК соединяются водородными связями, и в результате молекула А оказывается точно возле молекулы В. Между ними происходит взаимодействие, и образуется комплекс А. После этого молекулу ДНК можно удалить.

Уникальные свойства наноматериалов

Благодаря своим уникальным свойствам наноматериалы стремительно завоёвывают мир. Эти свойства в первую очередь обусловлены их нанометровыми размерами. В отличие от своих макро– и микроскопических собратьев, наночастицы свободны от механических дефектов, что позволяет использовать их, например, для хранения информации и нужд микроэлектроники. За счёт чрезвычайно малых размеров возможно производить суперминиатюрные устройства.

На поверхности наноструктур находится относительно большое количество атомов, т. е. у них очень большая относительная площадь поверхности. Это свойство важно, например, для каталитических процессов, в которых наноматериалы способны ускорять реакции в тысячи и даже миллионы раз.

Помимо этого наноматериалы проявляют необычные свойства, которые не могут быть описаны привычными для нас законами классической механики. В них начинают проявляться так называемые квантово-механические эффекты, что делает их весьма перспективными для использования в электронных и оптических устройствах, а также в биологических и медицинских исследованиях.

Достижения нанотехнологий

Многие нанотехнологии уже нашли практическое применение, а другие ещё находятся на стадии разработки. Одной из таких перспективных разработок является создание ***углеродных нанотрубок*** – цилиндрических структур из тонкого слоя графита особой структуры диаметром до нескольких десятков нанометров и длиной до нескольких сантиметров (рис. 256). Нанотрубки могут найти очень широкое применение – от создания новых типов транзисторов, дисплеев и фотодиодов до создания соединений между живыми нейронами и электронными устройствами в новейших нейрокомпьютерных разработках.

В 2010 г. Нобелевская премия по физике была присуждена двум русским учёным, работающим в Манчестерском университете, – Андрею Гейму и Константину Новосёлову. Премию они получили за то, что им удалось создать ***графен*** – плёнку, состоящую из обычного графита, который вставляют в карандаши, только эта плёнка имела толщину всего в один атом. Эта плёнка обладает настолько поразительными свойствами, что ещё недавно в возможность её существования никто не верил. Графен очень хорошо проводит электрический ток даже при комнатной температуре, что позволит заменить им кремний в полупроводниках и создавать на его основе сенсорные экраны, солнечные батареи, сотовые телефоны и сверхбыстрые компьютерные чипы.

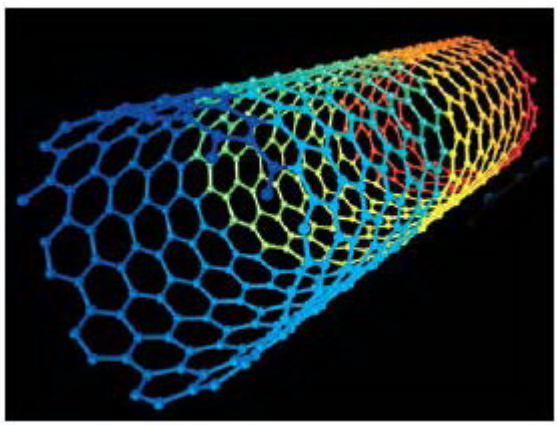


Рис. 256. Нанотрубка

Рис. 257. Наноробот в кровеносном сосуде

Большой интерес в рамках нанотехнологий представляет создание *нанороботов,* разработка которых проводится в настоящее время (рис. 257). Это будут машины, сопоставимые по размерам с молекулами, которые будут способны двигаться, обрабатывать и передавать информацию, реализовывать заложенные в них программы, а возможно, и создавать себе подобные, т. е. самовоспроизводиться. Согласно другой точке зрения, нанороботы могут иметь и большие размеры – главное, чтобы они были способны манипулировать с объектами на наноуровне. Примитивные модели нанороботов существуют уже сейчас. Показано, что с их помощью можно управлять некоторыми химическими реакциями. Некоторые конструкторы нанороботов пытаются строить их на биологической основе, для чего используют фрагменты ДНК, называя свои создания ДНК-компьютерами.

Предполагают, что нанороботы могут найти применение в самых различных областях человеческой деятельности, особенно в медицине, где с их помощью можно будет диагностировать на ранней стадии многие заболевания (рак, диабет и др.), проводить хирургические микрооперации и осуществлять доставку лекарственных средств в нужные участки организма. Возможно, нанороботы смогут собирать различные системы из отдельных молекул.

Междисциплинарный характер нанотехнологии обеспечил ей распространение практически во всех отраслях науки и техники. В настоящее время технологические процессы производства интегральных микросхем уже осуществляются на нанометровом уровне в промышленных масштабах, и для дальнейшей миниатюризации преградой являются не технологические, а квантовые эффекты, проявляющие себя на микроуровне. Выпускаются фильтры, содержащие пористые наноматериалы.

Они позволяют быстро и эффективно очищать воду не только от ионов, органических соединений, частиц грязи, но и от бактерий и даже вирусов. Появляются и первые медицинские препараты, позволяющие ускорять заживление ран и ожогов, а также эффективно убивать микробов. Наночастицы оксида титана и оксида цинка повсеместно стали использоваться в солнцезащитных кремах, поскольку именно они пропускают свет в видимом диапазоне и отсекают опасный для человека ультрафиолет.

В ближайшем будущем благодаря развитию нанотехнологии и биологии можно ожидать появления эффективных и безопасных лекарств, чувствительных датчиков, следящих за здоровьем человека, и, возможно, даже биокомпьютеров и биороботов.

Проверьте свои знания

1. Когда зародилась идея работы на наноуровне?
2. Каковы были предпосылки возникновения нанотехнологии?
3. Расскажите, чем занимается нанотехнология. Что такое нанометр?
4. Приведите примеры веществ и материалов, обладающих нанометровыми размерами.
5. Какими необычными свойствами обладают наноматериалы?

Задания

1. Используя дополнительную литературу и ресурсы Интернета, подготовьте сообщение или презентацию по одной из предложенных тем: «Бионаномашины и перспективы создания биокомпьютеров», «Наномедицина и её будущее», «Наноматериалы», «Нанотехнологии в медицине: новые подходы к доставке лекарств в организм», «Нанотехнология и экология: возможные опасности использования наноматериалов». Подготовьте и проведите конференцию по теме «Нанотехнологии и будущее человечества».
2. Подготовьтесь к дискуссии на тему «Военные приложения нанотехнологических разработок: за и против».

§ 76 Взаимодействие ноосферы и биосферы

К бригадиру лесорубов приходит человек и просит принять его на работу.

– А у вас достаточная квалификация? – спрашивает бригадир.

– Да, вполне!

– Ну, попробуйте срубить вон то дерево.

Претендент валит его одним ударом топора.

– А вот то, толстое?

Претендент тремя ударами сваливает толстенное дерево.

– Да, – говорит бригадир, – прекрасно! А где вы так научились мастерству?

– Я несколько лет работал в лесах Сахары.

– Сахары?! Но ведь это пустыня.

– Конечно! Теперь там уже пустыня.

Анекдот

Трудно сказать, когда именно возникла ноосфера. Так как ноосфера означает сферу разума, то она должна была появиться вместе с появлением разумного человека. Но кого из предков современного человека можно считать разумным? Обладали ли примитивным разумом умелые и прямоходящие люди? Так или иначе наступило время, когда сфера человеческого разума стала активно вмешиваться в биосферные процессы. Когда начался этот процесс?

Мы говорили о том, что человека считают виновником вымирания многих животных ледникового периода. Но, во-первых, виновность человека у некоторых исследователей вызывает сомнения, а во-вторых, даже если это и так, то вряд ли это событие можно считать связанным с ноосферой. Человек начал заниматься загонной охотой около 15 тыс. лет назад, в результате чего численность многих животных сократилась, но в этом ещё трудно усмотреть влияние на биосферу разумной

деятельности человека. С биосферной точки зрения в некоторых экосистемах просто появились очень ловкие и опасные хищники, деятельность которых и привела к снижению численности популяций их жертв. Такое бывало и до появления разумного человека. Появление копий и приспособлений для их метания глобально ничего не изменило.

Начало антропогенного воздействия на биосферу

По-видимому, началом активного воздействия ноосферы на биосферу следует считать неолитическую революцию. Тогда-то и возникло то, что в экологии называют *антропогенным фактором.* Одомашниванием животных и растений никто до человека не занимался (если, конечно, не считать муравьёв). Развитие человечества после неолитической революции представляет собой типичный пример системы с положительной обратной связью. Перейдя от охоты и собирательства к земледелию и животноводству, человечество обеспечило себя продовольствием, что позволило ему увеличить свою численность в десятки раз. Соответственно должна была возрастать и численность домашних животных, а им требовались пастбища, откуда изгонялись их дикие сородичи. То же самое происходило и с земледелием. Для расширения полей для своих посевов люди сжигали леса, причём из-за отсутствия правильного земледелия земля постоянно истощалась, лесов приходилось сжигать всё больше, а исчезновение лесов вело к обмелению и пересыханию рек.

Рис. 258. Пустыня Сахара

Рис. 259. Теплицы являются примером современных агроценозов

Одним из наиболее ярких примеров влияния скотоводства на природные экосистемы является возникновение пустыни Сахара (рис. 258). Около 10 тыс. лет назад на территории Сахары была саванна, где водились бегемоты, слоны, жирафы и страусы. Выпас человеком огромного количества скота привёл к уничтожению растительности, пересыханию водоёмов, исчезновению диких, а вслед за ними и домашних животных.

Агроценозы и их роль в развитии биосферы

Вместо природных экосистем возникали и постоянно расширялись искусственные экосистемы – *агроценозы* (рис. 259). Экосистемы, создаваемые человеком для удовлетворения своих потребностей, отличаются от природных экосистем многими признаками. Во-первых, характерной чертой естественного природного сообщества является видовое разнообразие, которое и определяет устойчивость экосистемы. Причём динамика количества видов, их численности и биомассы подчиняется определённым статистическим закономерностям. Видовое разнообразие определяет устойчивость экосистемы. Создавая же агроценозы, человек поступает как раз наоборот: старается заселить их как можно меньшим числом видов. Иногда ему требуется, чтобы сообщество состояло всего из одного вида, например, на поле должна расти только пшеница или только капуста. Естественно, такая экосистема не может быть устойчивой. Виды растений, более приспособленные к борьбе за существование в данных условиях, называемые сорняками, начинают вытеснять культурные растения, с ними приходится бороться путём прополки или применения гербицидов. В агроценозе поселяются насекомые, грызуны и другие живые

организмы, приспособленные к питанию именно данным культурным растением (вредители). В отсутствие конкурирующих насекомых и грызунов они начинают размножаться в огромном количестве, и их тоже приходится уничтожать. Кроме того, агроценоз для того и создаётся, чтобы изымать из него продукцию. В результате круговорот веществ разрывается, эта продукция не попадает в детритную цепь, и человеку приходится вносить в почву удобрения. Таким образом, агроценоз представляет собой очень неустойчивую систему, которая без вмешательства человека быстро деградирует. Попробуйте хотя бы месяц не пропалывать грядку. Что от неё останется?

Кроме того, агроценозы влияют и на окружающие природные экосистемы. Инсектициды, предназначенные для уничтожения насекомых, питающихся культурными растениями, убивают и других насекомых. В результате на окрестных территориях исчезают насекомоядные птицы, земноводные, ящерицы, землеройки и прочие животные, пищей которым служат насекомые. За ними исчезают хищники, питающиеся насекомоядными животными. Жизнедеятельность окружающих экосистем оказывается нарушенной.

Пастбища для выпаса домашних животных тоже можно считать агроценозами. На них обитает ограниченное число видов животных, причём с очень высокой плотностью популяций. Мы уже говорили о том, что именно пастбищное животноводство привело к опустыниванию огромных территорий.

По мере расселения человечества и увеличения его численности наступление агроценозов на природные экосистемы усиливалось, а темпы увеличения численности людей очень впечатляют. Как предполагают некоторые исследователи, в эпоху первых агроценозов (7–8 тыс. лет до н. э.) на Земле жило около 10 млн человек. За 2 тыс. лет до н. э. их уже было около 50 млн. К началу новой эры землю населяло уже 200–250 млн человек. Дальнейший рост численности человечества вплоть до XVIII в. происходил очень медленно: за первые полторы тысячи лет новой эры население планеты увеличилось всего в два раза.

Тем не менее уже 4–5 тыс. лет назад антропогенное воздействие стало существенным экологическим фактором. Спасаясь от опустынивания, человек либо покидал ставшие бесплодными земли и переселялся на новые территории, либо прибегал к орошаемому земледелию (рис. 260). В тех местах, где происходили ежегодные разливы больших рек, таких как Нил, Тигр и Евфрат, Инд и Ганг, Янцзы и Хуанхэ, появились первые цивилизации с густонаселёнными городами. Но поскольку разливы рек происходили не всегда регулярно и достигали не

всех территорий, где селились люди, приходилось для дополнительного орошения прорывать каналы. Интенсивное строительство каналов и поливное земледелие вели к засолению почв. Кроме того, большое количество людей требовало содержания множества домашних животных, которые паслись в окрестностях городов, уничтожая росшие там деревья и кустарники и выбивая пастбища. Поэтому вокруг крупных городов часто возникали пустыни, а сами города приходили в упадок, из-за чего многим древним государствам приходилось менять местоположение своих столиц.

Освоение новых территорий

В эпоху Великих географических открытий появление европейцев на новых территориях, прежде всего на островах, приводило к серьёзным изменениям существующих там биоценозов.

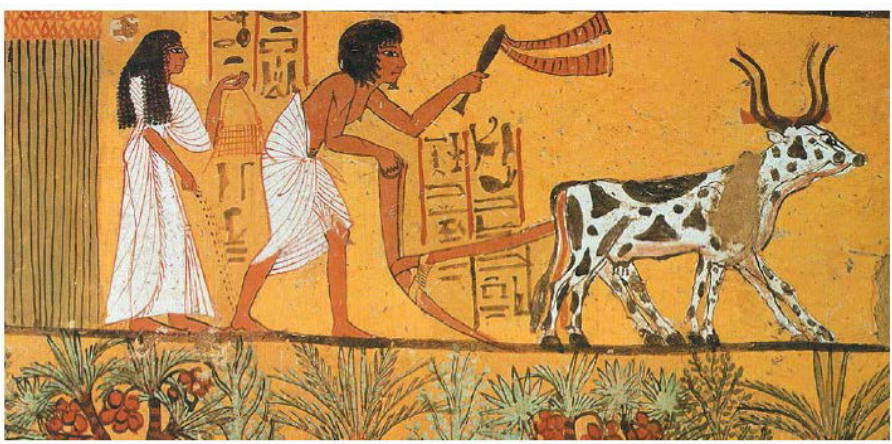


Рис. 260. Древнеегипетские изображения землепашцев

В качестве одного из наиболее распространённых примеров часто приводят остров Святой Елены, который некогда весь был покрыт тропическим лесом, а теперь представляет собой почти голую скалу. Причиной являются завезённые сюда европейцами козы, которые съели почти всю растительность острова вплоть до крупных деревьев. Появление многочисленных популяций культурных растений и домашних животных в Северной и Южной Америке, Сибири и Австралии значительно изменило экологическую структуру этих территорий и привело к исчезновению многих видов растений и животных.

Однако вплоть до XIX в. на нашей планете обитало

относительно немного людей, плотность населения была не слишком велика, возникавшая промышленность работала с недостаточно большой интенсивностью. Поэтому, хотя ноосфера и оказывала значительное влияние на биосферу, это влияние не было критическим, и говорить об экологической катастрофе в глобальном масштабе не приходилось. Понятие «глобального экологического кризиса», активно обсуждающегося в современном мире, возникло лишь в прошлом столетии.

Проверьте свои знания

1. К какому периоду развития человеческого общества относится зарождение сельскохозяйственного производства?
2. Что было причиной опустынивания Сахары?
3. Назовите причины возможного возникновения недостатка воды в ряде районов мира.
4. Чем отличаются агроценозы от природных экосистем? Назовите известные вам агроценозы.

Задания

1. Докажите, что комплексы биологической очистки сточных вод и биотехнологические производства тоже являются искусственными экосистемами.
2. Выясните, какие искусственные экосистемы в сельском хозяйстве и в промышленности существуют в вашем регионе. Если возможно, вместе с учителем организуйте туда экскурсию. Напишите отчёт об экскурсии.

§ 77 Основные экологические проблемы современности

Мы не можем ждать милостей от природы; взять их у неё – наша задача.

Иван Мичурин, русский селекционер

Мы не можем ждать милостей от природы после всего, что мы с ней сделали.

Виктор Коняхин, современный сатирик

Серьёзные изменения биосферы, связанные с антропогенными воздействиями, начались в прошлом веке. Невероятное возрастание числа жителей Земли (так называемый демографический взрыв) и научно-техническая революция стали основными причинами этих изменений. Обе причины взаимосвязаны, так как количество потребляемой человечеством энергии и материальных ресурсов возрастает почти пропорционально его численности и даже несколько опережает её.

Численность людей на планете

В течение длительного времени число обитающих на земном шаре людей почти не увеличивалось. Как уже было сказано, население Земли в начале нашей эры, по приблизительным подсчётам, составляло 200–250 млн человек. За последующие полтора тысячелетия его численность возросла всего в два раза и составила 425–450 млн. Резкий скачок в скорости прироста населения Земли, особенно в Европе и отчасти в Азии, произошёл в конце XVIII в. Это было связано с улучшением гигиенических условий, увеличением продолжительности жизни, сокращением эпидемий и началом интенсивного промышленного производства. В начале XIX в. численность жителей Земли достигла 1 млрд, после чего продолжала стремительно нарастать. Из таблицы, составленной В. П. Максаковским (табл. 6), и из диаграммы

(рис. 261) видно, что, для того чтобы число жителей нашей планеты достигло первого миллиарда, понадобилась вся история человечества до XVIII в., на следующий миллиард ушло 107 лет, на третий – 33 года, а затем каждые 12–13 лет стало равномерно прибавляться по миллиарду.

Таблица 6
Динамика численности населения Земли

Годы	Население, млрд чел.	Время достижения миллиардного прироста, лет
1820	1	Вся предшествующая история
1927	2	107
1960	3	33
1974	4	14
1987	5	13
1999	6	12
2011	7	12

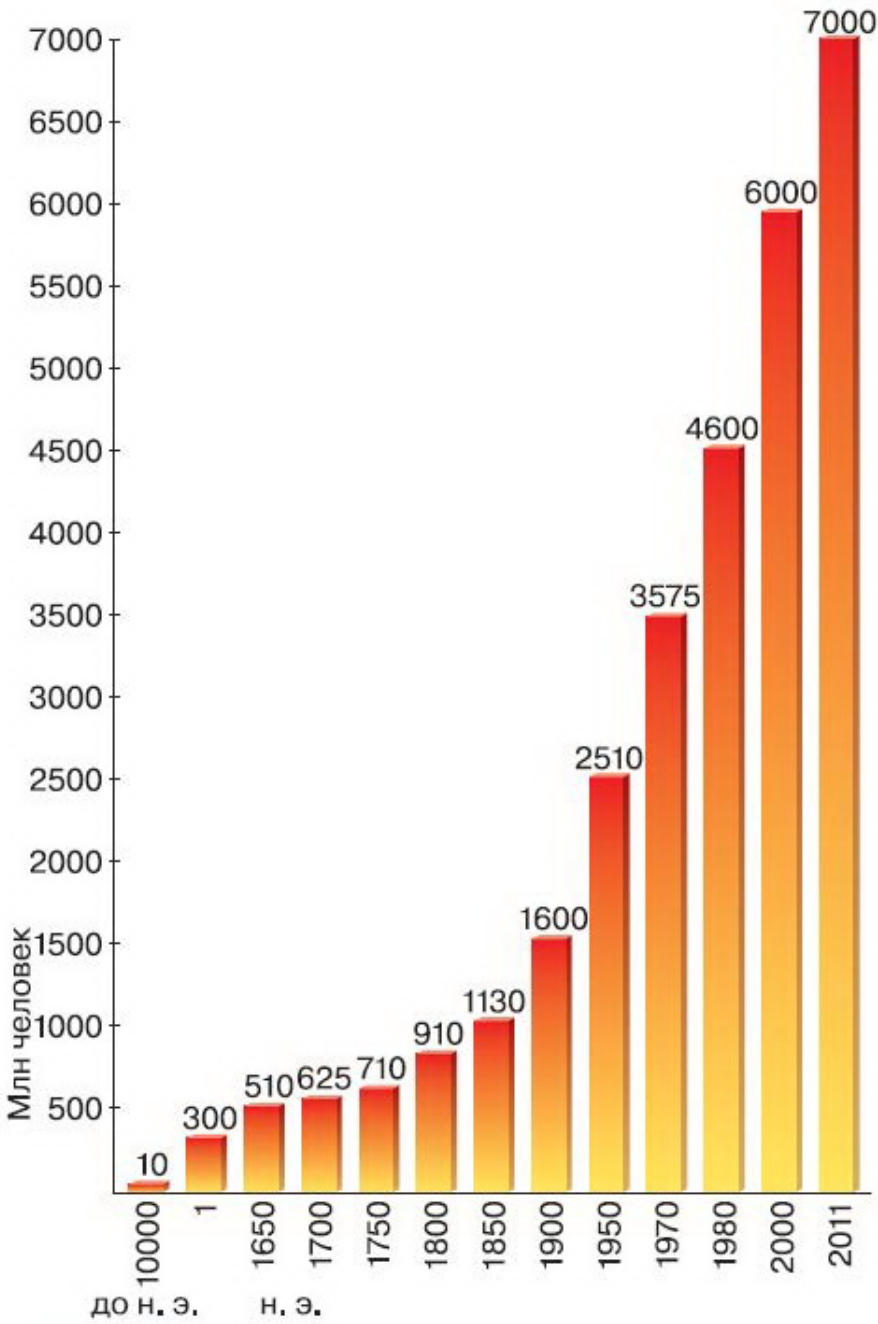


Рис. 261. Рост численности населения Земли

Для всех этих миллиардов требуются пища, жильё, одежда, средства передвижения и прочее. Причём растёт не только количество людей, растут и потребности каждого из них. Ещё сто лет назад никто не думал об авиаперелётах, личном автомобиле

и кондиционере. Да и электрическое освещение и центральное отопление считались роскошью. Теперь, по крайней мере в развитых странах, всё это стало необходимостью. А потребность в пище всегда была необходимостью и, разумеется, ею и осталась. Для того чтобы удовлетворять эту потребность, требуется оказывать постоянное давление на биосферу. Мы уже видели, к чему это может привести, но оценивали последствия совсем в других масштабах. В начале нашей эры требовалось прокормить в 30 раз меньше человек, чем сейчас, значит, за это время интенсивность земледелия и животноводства должна была возрасти не менее чем в 30 раз. За счёт чего этого можно достичь?

Увеличение производительности сельского хозяйства, как и других отраслей экономики, можно осуществлять двумя способами – *экстенсивным* и *интенсивным.* Первый требует расширения используемых земель, расширения использования природных ресурсов и возрастания потребления энергии. Второй основывается на внедрении новых, более эффективных технологий и методов производства.

Экстенсивные методы развития сельского хозяйства

Экстенсивное расширение сельского хозяйства может происходить либо за счёт уничтожения природных экосистем, либо за счёт расширения орошаемого земледелия в пустынных районах. Природные экосистемы уничтожаются ради расширения посевных площадей, пастбищ, получения сырья (древесины), строительства населённых пунктов и промышленных объектов. Особенную опасность для биосферы представляет *уничтожение лесов,* которое, хотя и замедлилось в последние годы, всё же представляет собой катастрофическое явление. За последние 8 тыс. лет численность лесов на Земле сократилась примерно вдвое, а из оставшихся природные лесные экосистемы занимают лишь немногим более 20 %. Остальные так или иначе являются в значительной степени агроценозами. Это парки, сады и лесопосадки. В Европе настоящих биосферных лесов практически не осталось. Лучше всего сохранились хвойные леса, расположенные между арктической тундрой и лиственными лесами. Это два крупных лесных массива, один из которых находится в Сибири, а другой простирается через часть Канады и Аляски. Третья большая лесная территория – это тропический лес в бассейне Амазонки. Но и эти сохранившиеся леса находятся под угрозой уничтожения. В настоящее время наиболее интенсивно уничтожаются леса в развивающихся странах Африки и Азии, где

до сих пор широко используют известное с древности подсечно-огневое земледелие, при котором сначала вырубают и сжигают большой участок леса, а затем на удобренной золой почве разводят сельскохозяйственные культуры. Так как демографический прирост в этих регионах наиболее высок, то используются любые меры, чтобы прокормить это возрастающее население.

Какую опасность для биосферы представляет уничтожение лесов? Прежде всего, это снижение содержания кислорода в атмосфере. Не зря крупные лесные массивы, особенно тропические леса, называют «лёгкими планеты». Кроме того, снижение площади лесов приводит к изменению гидрологического режима, обмелению рек и эрозии почв.

Активное развитие орошаемого земледелия привело к тому, что перерасход воды стал одной из глобальных экологических проблем современности. Пять тысяч лет назад земледельцы древнего Шумера и Вавилона, работая кирками и мотыгами, за несколько сотен лет превратили окрестности своих городов в пустыню. А в наше время при использовании современной техники для орошения пустынных земель Центральной Азии за несколько десятков лет было практически полностью уничтожено Аральское море, бывшее четвёртым по величине озером в мире, равным по площади Ирландии (рис. 262). Соль с его высохшего дна разносится ветром, вызывая засоление почв на многие сотни километров вокруг, а ещё недавно там процветало рыболовство, на берегах цвели сады, обитало множество видов птиц и зверей.

Рис. 262. Уменьшение акватории Аральского моря. Спутниковая съёмка, сделанная летом 2002 г. Красной линией показаны границы воды по состоянию на 1960 г.

Интенсивные методы развития сельского хозяйства

Интенсивные методы развития сельского хозяйства тоже не лучшим образом влияют на окружающие экосистемы. В почву приходится вносить большое количество минеральных удобрений, что существенно изменяет солевой баланс среды. Для борьбы с насекомыми, сорняками и паразитирующими грибами, снижающими урожайность сельскохозяйственных культур, используют соответственно инсектициды, гербициды и фунгициды. Эти ядовитые вещества уничтожают не только «вредные» организмы, но и многие другие, обитающие в окрестности и являющиеся важными компонентами

экологических систем. С полей и пастбищ органические вещества, минеральные удобрения, отходы животноводства, инсектициды, гербициды и фунгициды попадают в воду и загрязняют окружающие водоёмы, сильно влияя на их видовой состав.

Увеличение объёмов промышленного производства приводит к загрязнению природной среды продуктами технологических процессов. Хотя в промышленности часто используют интенсивные методы, основанные на использовании новых прогрессивных технологий, эти технологии не всегда бывают безопасными. При сжигании огромного количества топлива и в результате переработки химического сырья в атмосферу выбрасывается большое количество углекислого газа, азота, соединений серы и солей тяжёлых металлов. Всё это приводит к повышению заболеваемости среди жителей ближайших территорий. Растворяясь в капельках атмосферной влаги, оксиды серы и азота выпадают на землю в виде *кислотных дождей,* что наносит особый вред водным экосистемам, лесам и их обитателям.

Канализационные стоки, которые сбрасывают в моря без предварительной очистки, создают угрозу здоровью людей. Из-за аварий танкеров и трубопроводов в океан ежегодно выливается около 5 млн т нефти. Сбросы промышленных предприятий, поверхностные стоки со свалок часто загрязнены тяжёлыми металлами и синтетическими органическими веществами. Соли тяжёлых металлов (свинца, ртути, меди, цинка, хрома, кадмия и др.) вызывают у человека отравления с тяжелейшими физиологическими и неврологическими последствиями. Многие искусственные органические соединения настолько напоминают природные, что усваиваются организмом, но, включаясь в обмен веществ, полностью нарушают его нормальное функционирование. В результате возникают заболевания почек, печени, бесплодие и многие другие физиологические расстройства. Особенно опасны ядовитые соединения, которые не разлагаются и, проходя через пищевые цепи, накапливаются в организмах.

Парниковый эффект

Помимо локальных изменений среды, происходящих в непосредственной близости от источника загрязнения, существуют глобальные изменения, способные если не полностью уничтожить, то во всяком случае радикально изменить всю биосферу Земли. К ним, в частности, относится широко

известный *парниковый эффект* – уменьшение оттока тепла с земной поверхности и, как следствие, повышение средней температуры Земли (рис. 263). Причиной парникового эффекта является то, что солнечный свет, падающий на Землю, находится в видимой части спектра и свободно проходит через верхние слои атмосферы. Падая на земную поверхность, он нагревает её и отражается уже в виде инфракрасного (теплового) излучения, которое задерживают содержащиеся в верхних слоях атмосферы пары воды и такие газы, как углекислый газ, метан и оксид азота. О существовании парникового эффекта было известно ещё в XIX в., но в последнее время отмечено его увеличение, связанное в первую очередь с повышенным выбросом промышленными предприятиями углекислого газа.

Рис. 263. Парниковый эффект

С увеличением парникового эффекта связывают глобальное потепление. В течение последнего времени средняя температура на Земле постоянно поднимается. Так, с середины XVIII в., т. е. с началом промышленной революции, она увеличилась на 0,7 °С. По некоторым прогнозам, в XXI в. температура может подняться ещё на величину от 1 до 6 °С. Это может привести к катастрофическим последствиям. В результате таяния ледников повысится уровень Мирового океана, что приведёт к затоплению огромных прибрежных территорий, на которых расположены большие города и целые государства. Могут участиться природные катаклизмы – наводнения, засухи, ураганы и пр. Потепление приведёт к переселению многих животных в полярные зоны и вымиранию многих обитателей прибрежных зон и островов. Другие исследователи не считают глобальное

потепление результатом антропогенного воздействия, а полагают, что оно является естественной фазой колебаний температуры, характерной для данной эпохи. По их мнению, в XIV–XIX вв. имел место «малый ледниковый период», в течение которого температура на Земле понизилась по сравнению с X–XIII вв. Сейчас происходит очередная волна естественного колебания климата, которая приведёт Землю к температуре, существовавшей до начала этого периода.

Экологические катастрофы

На нашей планете периодически происходят так называемые экологические катастрофы, которые, хотя и не грозят гибелью всем обитателям Земли, тем не менее наносят им серьёзный и часто непоправимый ущерб. Катастрофы могут быть природными (землетрясения, ураганы, большие извержения вулканов) и техногенными, связанными с человеческим фактором (пренебрежение мерами безопасности, халатность персонала, стремление к экономии средств и др.).

Рис. 264. Тушение пожара на нефтяной платформе в Мексиканском заливе (2010)

В последнее время на Земле очень часто происходят техногенные катастрофы, имеющие различные масштабы – от местных до глобальных. Крупной катастрофой стала авария на

Чернобыльской АЭС (1986), вызвавшая радиоактивное заражение некоторых территорий Украины, Белоруссии и России. 18 тыс. человек погибли и пострадали в результате взрыва на химическом заводе в 1984 г. в индийском городе Бхопал. Взрыв нефтяной платформы в Мексиканском заливе (2010) повлёк за собой крупнейший в истории США разлив нефти, что превратило эту аварию в одну из серьёзнейших техногенных катастроф (рис. 264).

Проверьте свои знания

1. С чем связано резкое изменение динамики роста численности населения Земли, которое произошло в XVIII в.?
2. Сравните экстенсивный и интенсивный способы развития производства. В чём их разница?
3. Какую опасность для биосферы представляет уничтожение лесов?
4. Что такое инсектициды, гербициды и фунгициды? Какую опасность они представляют для окружающей среды?
5. Что может быть причиной глобального потепления?
6. Как вы считаете, может ли природная катастрофа стать причиной техногенной катастрофы? Докажите своё мнение.

Задания

1. Предложите возможные пути решения основных экологических проблем вашего региона.
2. Существуют ли в вашем регионе природоохранные организации, деятельность которых направлена на сохранение природных экосистем, поддержание и восстановление численности исчезающих видов? Что вам известно об их работе? Обсудите в классе, какую помощь вы можете им оказать. Что лично вы можете сделать для сохранения нашего общего дома – планеты Земля?
3. Используя дополнительную литературу и ресурсы Интернета, подготовьте сообщение или презентацию о серьёзных экологических катастрофах современности и о мерах по их ликвидации.
4. Объясните, почему нельзя употреблять выражение «плохая экология». В чём некорректность данного выражения?
5. Проанализируйте текст параграфа и составьте список основных экологических проблем современности. Какие вы

можете предложить классификации этих проблем?

6. Выявите скопления бытовых отходов и свалок мусора на территории вашего района. Организуйте и проведите мероприятия по очистке территории. Напишите краткую заметку в местную газету о проведённом мероприятии.

Ваша будущая профессия

1. Что вы знаете о профессиях, связанных с техническими достижениями человечества? Есть ли среди ваших знакомых или родственников люди, работающие в сфере транспорта, авиации или космической промышленности? Попросите их прийти в класс и рассказать об особенностях своей профессии.

2. Согласны ли вы с тем, что программист – универсальная профессия? Объясните свою точку зрения.

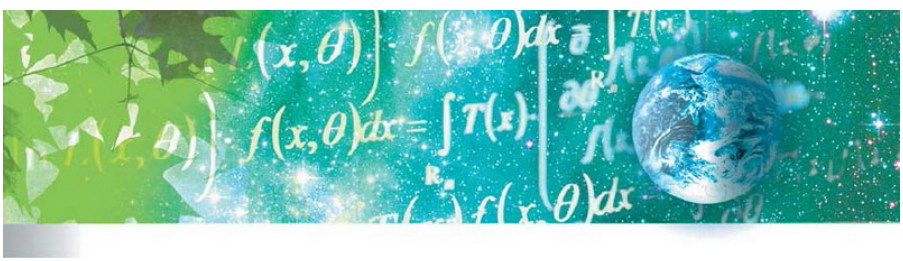
3. Сделайте фотоколлаж на тему «Профессии моей семьи», в котором кратко расскажите о работе ваших родителей, бабушек, дедушек, старших братьев или сестёр. Организуйте вместе с одноклассниками общую выставку «Профессионалы в своих профессиях», пригласив на неё своих родных и близких.

4. Докажите, что для решения экологических проблем современности необходима интеграция знаний и достижений всех наук и людей всех специальностей.

Заключение: Перспективы развития ноосферы

Познавая, наш разум не наблюдает, он формирует действительность по правилам самого человека… Для познания истины нужны не только умственные способности, но все чувства, мораль, нравственная ответственность.

В. И. Вернадский



Мы заканчиваем изучение основных вопросов, связанных с современными науками о природе, т. е. с естествознанием. Последняя глава была посвящена ноосфере – сфере разума, области, на которую распространяется человеческая мысль. На сегодняшний день этой областью является вся Земля, во всяком случае, её поверхностные слои. Ноосфера, по мысли В. И. Вернадского, создаётся научным знанием, которое всё более и более проявляется на нашей планете как природная сила. Фактически весь этот учебник был посвящён ноосфере. Конечно, человек не может управлять движением звёзд и планет, но эти движения влияли на развитие сельского хозяйства, отражались в мифологии и религии, которые определяли культуру человека, а значит, и обусловленные этой культурой происходившие на Земле преобразования. Конечно, человеческая мысль не может изменить законов физики, но знание этих законов определило развитие промышленности, изменившей «лик Земли». Расщепление атомного ядра и освобождение ядерной энергии потенциально поставили под угрозу само существование человечества.

Возникновение ноосферы является естественным следствием

эволюции биосферы. Мы знаем, что с появлением жизни на нашей планете стали происходить такие изменения, которые нельзя сказать что противоречили, но и не вытекали из законов физики. Эти изменения коренным образом изменили происходящие на планете процессы. Ещё до выхода трудов Ч. Дарвина американский геолог и биолог Д. Д. Дана выдвинул представление о том, что эволюция живой природы идёт в определённом направлении, которое он назвал цефализацией. Суть этой гипотезы заключается в том, что в процессе развития живой природы появился головной мозг, сложность и эффективность работы которого постоянно увеличивалась, пока он не эволюционировал в мозг человека. С этого момента можно отсчитывать начало существования ноосферы.

С общефизической точки зрения ноосфера кажется очень странным явлением. Давайте займёмся небольшими подсчётами. Мозг взрослого человека весит 1400–1500 г. Число живущих на Земле людей только что достигло 7 млрд, так что общая масса вещества, составляющего мозг всего человечества, около 10 млрд (10^9) килограммов. Масса же земного шара равна 6 10^{24} кг. Таким образом, весь совокупный мозг человечества составляет ничтожнейшую часть Земли. Представьте себе, что наша планета представляла бы собой шар массой 6 тыс. т. Тогда совокупная масса мозга человечества составляла бы 1 мкг, т. е. одну миллионную грамма. Это сопоставимо с пылинкой, которую можно рассмотреть только в микроскоп. Тем не менее эта «пылинка» за несколько тысяч лет произвела на Земле изменения, сравнимые с теми, которые происходили на ней до появления человека в течение многих миллионов лет. Достаточно сказать, что «пылинка» накопила такие запасы ядерной энергии, что может при желании просто уничтожить планету. Вернее это сделала даже не «пылинка», а лишь незначительная её часть, имеющая отношение к ядерной энергетике. Получается, что информационное воздействие, которое система оказывает на окружающий мир, никак не связано с её размерами и массой.

Однако глобальная ядерная война кажется в наше время крайне маловероятной, поэтому лучше рассмотреть другие сценарии развития человечества, а вместе с ним и всей ноосферы. По-видимому, главной проблемой остаётся давление ноосферы на биосферу, на формы существования в ней жизни в целом, а следовательно, и жизни человечества. Мнение по этому вопросу самого В. И. Вернадского было весьма оптимистичным. Он писал:

> *«Ноосфера есть новое геологическое явление на нашей планете. В ней впервые человек становится крупнейшей*

геологической силой. Он может и должен перестраивать своим трудом и мыслью область своей жизни, перестраивать коренным образом по сравнению с тем, что было раньше. Перед ним открываются всё более и более широкие творческие возможности. И может быть, поколение моей внучки уже приблизится к их расцвету».

К сожалению, оптимизм Вернадского не вполне оправдался. Перед человеком действительно открылись широкие творческие возможности, но он слишком увлёкся их использованием и забыл о том, что любое действие может иметь и нежелательные побочные последствия. Таким побочным последствием оказалось не улучшение состояния биосферы, как думал создатель идеи, а, напротив, её ухудшение, в результате которого мы имеем загрязнение среды, гибель лесов, морей и рек, увеличение радиационного фона и пр. Грозят ли эти изменения человечеству гибелью? Надо полагать, что вряд ли. Катастрофы или угрозы катастроф в истории встречались не один раз (вспомним голод перед неолитической революцией, эпидемии чумы и чёрной оспы, реальную угрозу глобальной ядерной войны), но человечество каждый раз находило выход из положения. Надо надеяться, что очередной выход оно найдёт и сейчас. Однако для этого требуется, чтобы на устранение этой возможной катастрофы были направлены усилия всех жителей планеты – от рядовых граждан, каждый из которых может лишь чуть-чуть загрязнить окружающую среду (но каждое из этих «чуть-чуть» надо умножить на семь миллиардов), до руководителей предприятий, промышленных и сельскохозяйственных отраслей, государственных деятелей и политиков. Огромную роль в устранении угрозы играют научные исследования. Разработка методов безотходного производства, использование источников возобновляемой энергии, например солнечных батарей, при резком снижении использования невозобновляемых ресурсов (нефти, природного газа, лесов, воды и др.) – вот что должно быть первоочередными задачами экологических и близких к ним по направлению исследований.

Нельзя сомневаться и в тех прогнозах развития, которые носят оптимистический характер. Прежде всего, к ним относится научно-технический прогресс, в основном в своём техническом направлении. После огромного прорыва фундаментальные научные открытия приостановили своё движение. В настоящее время всё большее внимание уделяется прикладным разработкам, успехи которых в последние десятилетия поразительны. Трудно представить, в каких условиях будут жить люди следующего

поколения, так же как вам трудно поверить в то, в каких условиях жили ваши бабушки и дедушки и какими способами они добивались тех научных и технических результатов, плодами которых мы сейчас пользуемся[23].

Если рассматривать перспективу развития человечества в социальном отношении, то нельзя обойти вниманием исключительно важное направление, которое является одним из главных путей человеческого прогресса. Это ускорение и облегчение возможности общения между человеческими индивидами. Человек, будучи по своей природе социальным (или, как говорил Аристотель, «политическим» животным), всегда стремился к контактам с себе подобными. Иногда эти контакты приобретали кровавый характер, но чаще приводили к обмену идеями, знаниями и культурными ценностями. Для этой цели люди сначала изобретали всё более быстрые транспортные средства, а затем и приспособления для общения на расстоянии. С появлением телеграфа, телефона, радио и телевидения возможности межличностных контактов невероятно расширились. Уже в середине прошлого века на это обращали особое внимание создатели идеи ноосферы В. И. Вернадский и П. Тейяр де Шарден. Рассматривая ноосферу как целостную систему, они придавали особое значение объединению отдельных личностей в единое целое. Вернадский писал:

> *«В XX в., впервые в истории Земли, человек узнал и охватил всю биосферу, закончил географическую карту планеты Земля, расселился по всей её поверхности. Человечество своей жизнью стало единым целым <…>. И одновременно с этим, благодаря мощной технике и успехам научного мышления, благодаря радио и телевидению, человек может мгновенно говорить в любой точке нашей планеты с кем угодно».* Совершенно в том же духе высказывался в 1946 г. Тейяр де Шарден: *«Благодаря изобретению недавно железной дороги, автомобиля, самолёта физическое влияние каждого человека, некогда ограниченное несколькими километрами, теперь расширилось на сотни миль. Более того, благодаря изумительному событию – открытию электромагнитных волн – каждый индивид отныне* (*активно и пассивно*) *одновременно находится на всех морях и континентах – он находится во всех точках Земли».*

Оба автора не дожили до появления компьютеров, электронной почты, Интернета и мобильных телефонов и всё же видели перспективу объединения человечества. Тейяр де Шарден

предсказывал даже объединение индивидуальных разумов в единый Мировой Разум, который он назвал точкой Омега[24]. Теперь мы видим, насколько теснее стало сотрудничество индивидов с появлением Интернета с его форумами и социальными сетями. Возможность общения стала неограниченной. Периодически высказываются мнения о том, что эта возможность принципиально изменит социальную структуру человечества. Не скованное законами, органами власти и даже моральными нормами, интернет-сообщество выберет новый путь исторического развития. Идут разговоры даже об интернетократии – группе людей, способных через сеть управлять человеческим поведением и даже зомбировать пользователей. Хотя, как мы уже знаем, прогнозы научно-технических достижений – вещь опасная, всё же можно предположить, что интернет-сообщество может привести к появлению новых социальных отношений, причём без зомбирования и чьего-то злого умысла. Вспомните, что говорилось о синергетике и самоорганизующихся структурах. Похоже, что по мере дальнейшего увеличения интенсивности пользования Интернетом и расширения числа пользователей в нём начнёт происходить самоорганизация не по чьей-то злой или доброй воле, а просто по правилам, свойственным такого типа системам. Сначала возникнет достаточно много конкурирующих групп, затем в результате отбора останется их небольшое число. В каждой из них возникнет параметр порядка, системы будут конкурировать, развиваться, менять управляющие параметры, достигать точек бифуркации, исчезать или переходить на новую ветвь развития. Такая социальная негосударственная структура может оказывать значительное влияние на политические и экономические процессы. Впрочем, ещё раз повторим, что прогнозы в области научно-технического прогресса, а уж тем более о его влиянии на политику и экономику – вещь чрезвычайно неблагодарная.

Одно можно сказать точно. Лет через 20–30, когда ваши дети будут оканчивать школу, форма, а во многом и содержание обучения будут совсем иными. Конечно, основные законы природы не изменятся, но толковать и объяснять их будут уже с позиции новых достижений, особенно в области технического использования. Хотя не исключено, что к тому времени будут открыты и новые фундаментальные законы. Так что учебники будут совсем другими, если их вообще не заменят на более удобные и прогрессивные средства обучения.

Приложение

Памятки для ученика

Памятка № 1

Этапы поиска путей решения проблемы

1. Выявление проблемы (противоречия между старым и новым знанием, конфликта точек зрения, ситуации неопределенности).
2. Выдвижение гипотезы решения проблемы.
3. Проверка гипотезы: выбор методов, отбор источников информации, получение и интерпретация результатов.
4. Подтверждение или опровержение гипотезы. При опровержении – выдвижение новой гипотезы.

Памятка № 2

Этапы работы над проектом. Цель проектной деятельности – создание нового материального или нематериального продукта

1. Выбор тематики.
2. Определение задач, которые необходимо решить для создания продукта.
3. Планирование деятельности по решению задач.
4. Работа над проектом.
5. Оформление результатов работы.
6. Презентация проекта.

Памятка № 3

Этапы проведения исследования. Цель исследовательской деятельности – создание нового знания

1. Выбор темы.
2. Определение задач, которые необходимо решить.
3. Выдвижение гипотезы, позволяющей решить поставленные задачи.

4. Проверка гипотезы: выбор методов, отбор источников информации, получение и интерпретация результатов.

5. Оформление результатов работы.

6. Защита работы.

Памятка № 4

Некоторые критерии оценки проекта и исследования

1. Значимость и актуальность темы.

2. Активность участников проекта, исследования.

3. Глубина проникновения в проблему.

4. Качество представления и оформления результатов.

5. Качество презентации.

Список рекомендуемых интернет-сайтов

http://interneturok.ru/ Видеоуроки

http://nauka.relis.ru/ Наука – это жизнь!

http://school-collection.edu.ru/catalog/ Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов

http://spkurdyumov.narod.ru/Start1N.htm/ Сайт «Синергетика» академика С. П. Курдюмова

http://univertv.ru/video/biology/ Образовательный видеопортал

http://www.chem.msu.ru/ Химический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова

http://www.fbb.msu.ru/ Факультет биоинженерии и биоинформатики МГУ им. М. В. Ломоносова

http://www.lomonosov-fund.ru/ Фонд знаний Ломоносова. История науки

http://www.phys.msu.ru/ Физический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова

http://www.planetarium-moscow.ru/ Большой планетарий Москвы

http://www.polymus.ru/ Политехнический музей

http://www.space-museum.ru/ Мемориальный музей космонавтики

notes

Примечания

1

Здесь и далее: Естествознание. 10 класс / С. А. Титов, И. Б. Агафонова, В. И. Сивоглазов. – М.: Дрофа.

2

Эдм Мариотт (1620–1684) – французский физик; Жозеф Луи Гей-Люссак (1778–1850) – французский физик и химик, открывший много новых химических элементов; Жак Шарль (1746–1823) – французский физик и изобретатель.

3

Приблизительно в то же время паровой двигатель был изобретён в Барнауле русским механиком Иваном Ивановичем Ползуновым (1728–1766). Однако изобретатель не дожил до пуска созданной им машины, и его изобретение не получило развития на Родине.

4

Правильными могут оказаться ответы: 1 (АБВ), 2 (АБГ), 3 (АБД), 4 (АВГ), 5 (АВД), 6 (АГД), 7 (БВГ), 8 (БВД), 9 (БГД), 10 (ВГД).

5

Можно придумать тексты с исключительно редким сочетанием букв. Например, существует фраза, которая содержит семь подряд стоящих букв «и». История такая. Хозяин галантерейного магазина заказал вывеску с надписью «Нитки и иголки». Увидев выполненную работу, он остался недоволен и сказал художнику: «Перерисуй! Надо сделать больше промежутки между «Нитки» и «и» и «и» и «иголки»». Вторым примером может служить вполне законный вопрос садовника «Полили ли лилии?», содержащий пять «ли» подряд.

6

«Дополнительные консультации по математике будут проводиться во вторник после пятого урока».

7

Как ни странно, но травоядных животных тоже следует отнести к хищникам, так как они убивают и поедают живые организмы, и не важно, что эти организмы – растительные.

8

Бывают, правда, и исключения – обнаружена огромная бактериальная клетка, размер которой составляет несколько десятков микрометров.

9

Обратите внимание: молекула АТФ содержит три остатка фосфорной кислоты, а не один, как нуклеотид, входящий в состав ДНК и РНК.

10

Совокупность процессов называют метаболизмом или обменом веществ.

11

Строма – это внутреннее пространство хлоропласта.

12

В настоящее время термин «низшие растения» уходит из употребления.

Некоторые исследователи считают их самостоятельными царствами.

14

При постановке данного скрещивания Мендель удалял тычинки, чтобы исключить возможность самоопыления, а затем кисточкой переносил на пестик пыльцу другого родительского растения.

15

Дело в том, что растениям, помимо органических веществ, которые они делают сами в процессе фотосинтеза, требуются ещё и неорганические соединения, такие как соли калия, азота, магния, фосфора и др. Эти вещества растения потребляют из почвы, а так как они не способны поглощать органические соединения, то, для того чтобы быть использованными растениями, органические вещества предварительно должны быть разложены до минеральных. Это и делают редуценты.

16

Терминов «ген» и «мутация» во времена Дарвина ещё не существовало.

В этом как раз и заключается главное противоречие между последователями Ламарка и сторонниками СТЭ.

18

Никакого отношения к Австралии австралопитеки не имеют!

19

Миокард – это название сердечной мышцы. Вообще говоря, инфаркт может возникать в других местах, например в лёгких, в случае гибели участка ткани. Но так как чаще всего он происходит в сердце, то, говоря «инфаркт», чаще всего имеют в виду инфаркт миокарда.

20

По свидетельству Булгакова, ею также страдал Понтий Пилат, который называл её гемикранией.

21

Недостаток дофамина может приводить к развитию болезни Паркинсона.

Интересно, что пигмеи Центральной Африки до сих пор не пользуются плодами неолитической революции и добывают себе пропитание только путём охоты и собирательства.

23

Вообще прогнозирование научно-технических достижений часто не имеет ничего общего с действительностью. Так, в одном из фантастических фильмов, снятых в 1961 г. (год полёта Гагарина), герой запросто отправляется в космическую экспедицию, но перед этим, ещё будучи в Москве, даёт список телефонов «всех мест, где он может оказаться». Полёт космических экспедиций казался делом реальным и близким, а идея мобильника никому в голову не приходила.

24

По мнению П. Тейяра де Шардена, эволюция Вселенной заключается в объединении систем в более крупные системы. Так, атомы объединились в молекулы, молекулы – в клетки, клетки – в многоклеточные организмы. Люди объединялись сначала в мелкие группы, затем – в государства. Соответственно объединяются и их сознания, что в конечном счёте приведёт к Мировому Разуму – точке Омега.